



Tielaitos

Vesa Laine, Esko Ehrola, Ari Venäläinen

Sää ja talvihoito

Tutkimus uuden sääindeksin tekemiseksi



Tielaitoksen
selvityksiä
22/2000

Helsinki 2000

TIEHALLINTO
Tie- ja liikenneolojen
suunnittelu

Tielaitoksen selvityksiä
22/2000

Sää ja talvihoito

Tutkimus uuden sääindeksin tekemiseksi

**Tielaitos
TIEHALLINTO**

Helsinki 2000

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-640-5
TIEL 3200610

Oy Edita Ab
Helsinki 2000

Julkaisua myy:
Tielaitos, julkaisumyynti
telefaksi 0204 44 2652
s-posti: elsa.juntunen@tielaitos.fi



Tielaitos
TIEHALLINTO
Tie- ja liikennealojen suunnittelu
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 44 150

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen päätavoitteena on ollut kehittää ilmastotietoihin tukeutuva talviindeksityökalu sekä eri alueiden talvihoitotarpeiden määrittelyyn että alueellisen talvihoitourakoinnin tarpeisiin. Talvi-indeksillä tarkoitetaan sääparametreihin pohjautuvaa talven vaikeutta kunnossapidon kannalta kuvaavaa suhteellista tunnuslukua. Talven vaikeutta on tässä tutkimuksessa selvitetty ensimmäisessä vaiheessa talvihoidon tarvetta synnyttävien sääilmiöiden esiintymismäärillä. Toisessa vaiheessa on kehitetty regressiomalleja, joilla ennustetaan säätunnuslukukertymien avulla talvihoitokustannuksia. Tutkimuksessa on lisäksi tuotettu runsaasti yleisesti hyödynnettävää tietoa talvihoitotarvetta synnyttävien sääilmiöiden luonteesta ja ajallisista ja alueellisista vaihteluista ja jakaumista.

Perussäähavaintoina on tutkimuksessa hyödynnetty ensimmäisen kerran laajamittaisesti Ilmatieteen laitoksen sääasemien havaintojen lisäksi tiesääasemien säähavaintoja.

Talven vaikeutta on tarkasteltu erikseen lumenpoiston ja liukkaudentorjunnan osalta, koska näitä toimenpiteitä synnyttävät sääilmiöt ovat hyvin erilaisia. Liukkaudentorjuntaa synnyttävinä ja talven vaikeutta kuvaavina säätunnuslukuina on käytetty mm seuraavanlaisia sääilmiöitä: jäätävä sade, suojalumen sade, märän tien jäätyminen, jäätymispisteen ylitys ja alitus, lauhtuminen ja tiivistyminen jääksi, kuuran ja mustan jään muodostuminen. Lumenpoiston säätunnuslukuina on käytetty 12 tunnin ja kuukauden lumisademääriä, lumisateiden lukumäärää, pyrytapauksia ja lumen ajautumistapauksia.

Talven vaikeuden alueellisten erojen ja vaihtelujen selvittämiseksi on sekä tiesääasemien että Ilmatieteen laitoksen asemien tiedoista tuotettu yksittäisten säätunnuslukujen ja niiden yhdistelmien vuosikertymien valtakunnalliset jakaumat. Vuosikertymien yhdistelmien mukaan suurimmat liukkaudentorjunnan tarpeet esiintyvät odotetusti Etelä-, Lounais- ja Länsi-Suomessa ulottuen länsirannikkoa pitkin aina Tornionjokilaaksoon. Keskimääräistä pienemmät liukkaudentorjunnan suhteelliset tarpeet ovat Lapissa ja Itä-Suomessa. Lumenpoiston säätunnuslukuyhdistelmien suurimmat arvot ovat Itä-Suomessa ja Lapissa. Lumisateiden pienimmät arvot esiintyvät maan etelä- ja länsirannikolla sekä Lounais-Suomessa. Lumenpoistoa kuvaavien säätunnuslukuyhdistelmien alueellinen vaihtelu on lähes päinvastainen verrattuna liukkaudentorjunnan jakaumiin.

Talvihoitokustannusten regressiomallitarkastelua varten maa jaettiin säätunnuslukujakaumien perusteella seitsemään ilmastoalueeseen. Jokaiselle ilmastoalueelle ja koko maalle kehitettiin lineaariset regressiomallit, joilla ennustetaan lumenpoisto- ja liukkaudentorjuntakustannuksia. Näiden yhdistelmänä saadaan talvihoidon kustannukset. Kaikkien mallien selitysasteet ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Selitysasteet vaihtelivat lumenpoistomalleissa Lapin mallin 78 %:sta Lounaisen alueen 59 %:iin. Liukkaudentorjuntamalleilla selitysasteet vaihtelivat vastaavasti välillä 68-

57 %. Koko maan malleilla selityssasteet jäivät selvästi pienemmiksi kuin ilmasto-alueiden malleilla. Liukkaudentorjuntakustannusten ennustemalleissa oli parhaana selittäjänä tiesääsemien havaintoihin perustuva kuuran ja mustanjään muodostumista kuvaava säätunnusluku. Tällaisen sääilmiön otaksutaan synnyttävän suolausta vaativan liukkaudentorjuntatilanteen. Lumenpoiston malleissa parhaina selittäjinä olivat lumisateiden esiintymismäärät, 12 tunnin sademäärä yli 2 mm ja kuukauden lumisademäärä.

Alueellisilla tasauskertoimilla korjattuihin kustannuksiin perustuvia talvihoitotarpeen ennustemalleja on käytetty ilmastollisista eroista aiheutuvien hoitotarpeiden arvioinnin perustana. Mallien mukaan pelkästään ilmastotekijöiden (säätunnuslukukertymien) perusteella Lapin ilmastoalueen talvihoidon tarpeet ovat lähes kaksinkertaiset Länsi/Etelä-Rannikkoon verrattuna. Lounainen ja Ala-Itäinen ilmastoalueiden talvihoitotarve on samaa suuruusluokkaa kuin Länsi/Etelä-Rannikon alueen. Keski-Kaakkoinen, Pohjois-Rannikko ja Ylä-Itäinen alueiden talvihoitotarpeet ovat pienimpiä. Lumenpoiston osalta Lapin ilmastoalueen säätekijöihin perustuva talvihoitotarve korostuu vielä voimakkaammin ollen yli 2,5-kertainen Länsi/Etelä-Rannikon alueeseen verrattuna. Ala-Itäinen ilmastoalueella korostuu myöskin lumenpoiston tarve. Liukkaudentorjunnan suhteen vaikeimpia ilmastoalueita näyttäisivät tutkimuksen mukaan olevan LänsiEtelä-Rannikko ja Lounainen alue.

Talvihoidon resurssitarve ei kuitenkaan kasva käytännössä suoraviivaisesti säätunnuslukukertymien suhteessa vaan kasvu tapahtuu vaimentuneena. Ilmastoalueiden ja samalla tiepiirien todellinen resurssitarve riippuu tietysti voimakkaasti alueen tiestön laadusta ja pituudesta. Tiestön laadun ja pituuden vaikutusta resurssitarpeisiin voidaan arvioida talvihoitoluokittaisten kilometrikustannusten avulla. Yhdistämällä ilmastotekijöiden vaikutus tiestön laadun ja pituuden mukaisiin talvihoidon resurssitarpeisiin voidaan arvioida alueellisten talvihoitoresurssien todellisia tarpeita.

Talvihoidon alueurakoinnissa urakointijakson talvien vaikeutta on arvioitu talvihoidon panostarpeita kuvaavalla talvi-indeksillä. Talvihoidon urakkasummaan tarvittavan korjaustekijän arvo on määritetty kustannusmalleilla ennustettujen talvi-indeksien ja selitettävien kustannusten välisen regressiomallin avulla. Käyttämällä korjaustekijän määrittämisessä 95 %:n luotettavuusrajoja talvi-indeksin vaihtelu välillä 86-114 (talvi-indeksin poikkeama keskiarvotalvesta ± 14 %) ei vielä aiheuta korjaustarvetta. Indeksien arvon ollessa 130 saadaan kustannusten korjausarvoksi noin +8,5 % ja vastaavasti indeksien ollessa 70 korjaustarve on noin -9,5 %.

Keywords winter index, winter road maintenance, winter road maintenance costs

ABSTRACT

The main aim of the study has been the development of a winter index tool that leans on weather information and is used both in rating winter road maintenance needs for different areas and in the needs of the regional winter road maintenance contract work. Generally, the winter index is designed to an indicator connected to winter road maintenance activities describing the severity of winter. In this study the severity of winter has been analysed with the seasonal sum of winter weather parameters causing winter road maintenance activities at first stage. Furthermore, linear regression equations have been computed to predict winter maintenance costs. In addition, there has been produced aplenty generally exploitable information of the nature of winter weather parameters causing winter road maintenance activities and weather parameters seasonal and spatial fluctuations and distributions in this study.

The basic weather observations of road weather information system outstations have been large-scale utilised in addition of Finnish Meteorological Institute's weather stations in this study for the first time.

The severity of winter has been examined separately for snow removal and ice control actions because of differences in the weather parameters causing winter road maintenance activities. Weather parameters that cause ice control actions and that describes the severity of winter are: supercooled rainwater, snowfall and air temperature between $-3... 2^{\circ}\text{C}$, rainwater freezing at a cold surface, air temperature fluctuating around freezing point, hoar-frost during a period with increasing temperature but on a still cold road surface and hoar-frost due to radiative cooling. Weather parameters causing snow removal actions are: mothly amount of snowfall, times when the amount of snowfall exceeds 2 mm in 12 hour period, snowfalls, snowstorms and drifting snow.

To clarify the regional differences and variations of the severity of winter the spatial distributions of the mean yearly sum of the individual weather parameters and of their combinations have been produced. According to the combinations of the mean yearly sum of weather parameters the biggest needs for ice control actions are expectedly found in Southern Finland, South-Western Finland and Western Finland reaching along the west coast up to Tornionjokilaakso. The proportional needs for ice control actions are less than average in Lapland and in Eastern Finland. The biggest needs for snow removal actions are found in Eastern Finland and in Lapland according to the combination of the weather parameters causing snow removal actions. The spatial distribution of the combination of weather parameters causing snow removal actions is almost the opposite compared to the distribution of the combination of weather parameters causing ice control actions.

Finland was divided into seven climate zones on the basis of the combinations of weather parameters causing winter road maintenance activities. Linear regression equations with which the snow removal and ice control costs are predicted were

computed for every climate zone and for the whole country. The winter road maintenance costs are obtained as their combination. The coefficients of determination of all the equations are statistically very significant. The coefficients of determination varied between 59 % (the Southwest climate zone) and 78 % (Lapland climate zone) with the snow removal equations. Furthermore, The coefficients of determination varied between 57-68 % with the ice control equations. With the models of the whole country the coefficients of determination remained distinctly smaller than those of the equations of climate zones. In the prediction models of ice control costs the weather parameter which is based on the observations of road weather information outstations and describes the forming of a hoar-frost due to radiative cooling was functioning as the best independent variable. It is supposed that this kind of weather parameter will cause a situation that requires salting. In the equations predicting snow removal costs snowfalls, times when the amount of snowfall exceeds 2 mm in 12-hour period and the monthly amount of snowfall were functioning as the best independent variables.

According to the combinations of the weather parameters, the needs for winter road maintenance are nearly equal in the South-West, lower East and South/West-coast climate zones. Furthermore, winter road maintenance needs are nearly 2-fold in Lapland climate zone compared with South/West-coast climate zone. The need for winter road maintenance is least in North-coast, Middle-South-East and upper East climate zones.

In practice, the resource need of winter road maintenance doesn't increase linearly as a function of weather parameters. The quality and length of road network of a region or a climate zone effects to the resource need of an area, too.

The value of the winter index is used to describe the severity of winter. The value of the correction factor required for the contract price of the winter road maintenance has been determined with the help of the regression equation between the predicted winter indexes and the dependent winter maintenance costs. By using 95% confidence belts in the definition of the correction factor the value of the winter index between 86-114 does not cause correction need to contract price yet. If the value of the winter index is 130, on the other hand, it raises the contract price by +8,5 %. If the value of the winter index is 70, it depreciates the contract price by -9,5 %.

ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut etsiä riippuvuudet sään ja talvihoidon kustannusten välille talvihoidon sääindeksin määrittelyä varten.. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan lisäksi tiestön talvihoitotoimenpiteitä aiheuttavia sääilmiöitä sekä niiden ajallisia ja alueellisia vaihteluita. Lisäksi kehitettiin menettely, jota voidaan hyödyntää eri alueiden talvihoitotarpeiden määrittämiseen ja alueellisen talvihoitourakoinnin ohjauksessa.

Tutkimus on tehty Tielaitoksen tiehallinnon tie- ja liikenneolojen suunnittelun toimaksiannosta Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratoriossa. Tielaitoksen puolesta talvi-indeksiprojektin projektiryhmässä on ollut Olli Penttinen ja Ilmatieteen laitokselta Ari Venäläinen.

Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratoriossa tutkimuksen tekemiseen ovat osallistuneet Vesa Laine ja Esko Ehrola.

Toukokuussa 2000

Tielaitos, tie- ja liikenneolojen suunnittelu

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	11
2	SÄÄINDEKSIMALLIEN KEHITTÄMISEN LÄHESTYMISTAVAT	13
3	SÄÄINDEKSIMALLIEN LÄHTÖTIEDOT	15
3.1	Säätiedot	15
3.11	Ilmatieteen laitoksen sääasemat	15
3.12	Tiesääasemat	18
3.2	Talvihoidon kustannus- ja suoritetiedot	24
3.21	Kustannukset, suoritteet ja talvihoitolähdöt	24
3.22	Kustannustietolähteet	25
3.23	Kustannusten laatu ja laajuus	25
3.24	Kustannustietojen muokkaus	26
4	SÄÄTUNNUSLUKUJEN KÄYTTÖ TALVEN ANKARUUDEN KUVAAMISEEN	30
4.1	Säätunnuslukujen käytön periaatteet	30
4.2	Liukkaudentorjuntatarvetta kuvaavat säätunnusluvut	31
4.21	Liukkautta synnyttävät sääilmiöt	31
4.22	Ilmatieteen laitoksen sääasemilta määritetyt liukkauden säätunnusluvut	38
4.23	Tiesääasemilta määritetyt liukkauden säätunnusluvut	39
4.24	Liukkauden säätunnuslukujen yhdistelmät	40
4.3	Lumenpoistotarvetta kuvaavat säätunnusluvut	42
4.31	Lumenpoistotarvetta synnyttävät sääilmiöt	42
4.32	Lumenpoiston säätunnusluvut	42
4.33	Lumenpoiston säätunnuslukujen yhdistelmä	43
4.4	Talvihoidon säätunnuslukujen yhdistelmät	44
4.5	Säätunnuslukujen pitkän aikavälin keskiarvot ja vaihtelut	45
4.51	Säätunnuslukujen vaihteluiden ja toistuvuuden arviointiperusteet	45
4.52	Säätunnuslukujen vaihtelut ja tarkastelujakson arviointi	46
4.6	Säätunnuslukujen valtakunnalliset jakaumat	49
4.61	Säätunnuslukupintojen jakaumien tuottaminen	49
4.62	Säätunnuslukupintojen jakaumien tarkastelu	50
4.7	Säätunnuslukupintojen käyttö ilmastoalueiden suunnitteluun	60
5	TALVIHOITOPANOSTEN JA SÄÄTUNNUSLUKUJEN VÄLINEN YHTEYS	65
5.1	Tarkastelun periaatteet	65
5.2	Käytettävät kustannustiedot ja säätunnusluvut	65
5.3	Kustannusten ja säätunnuslukujen väliset korrelaatiot	66
6	TALVIHOITOKUSTANNUSTEN JA SÄÄTUNNUSLUKUJEN VÄLISET REGRESSIOMALLIT	71
6.1	Tarkastelun periaatteet	71
6.2	Talvihoitokustannusmallit	73
6.21	Koko maan aineistosta kehitetyt regressiomallit	73
6.22	Ilmastoalueen Länsi-Etelä-Rannikko regressiomallit	74

6.23	Ilmastoalueen Lounainen regressiomallit	77
6.24	Ilmastoalueen Keski-Kaakkoinen regressiomallit	79
6.25	Ilmastoalueen Ala-Itäinen regressiomallit	81
6.26	Ilmastoalueen Pohjois-Rannikko regressiomallit	84
6.27	Ilmastoalueen Ylä-Itäinen regressiomallit	86
6.28	Ilmastoalueen Lappi regressiomallit	89
6.3	Ilmastoalueiden talvi-indeksien arvot	92
7	<u>REGRESSIOMALLIEN KÄYTTÖ ALUEELLISTEN TALVIHOITO-</u> <u>TARPEIDEN ARVIOINNISSA</u>	98
7.1	Valtakunnallisten talvihoitotarpeiden arviointi	98
7.2	Regressiomallien käyttö alueurakoinnin tarpeisiin	99
8	<u>YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET</u>	101
9	<u>LÄHDELUETTELO</u>	105

1 JOHDANTO

Teiden talvihoidon tarpeet ja samalla tarvittavat resurssit ja syntyvät kustannukset vaihtelevat talvesta toiseen. Toiset talvet ovat lumisia ja aiheuttavat runsaasti lumenpoistotarpeita. Toisina talvina lumisateita on vähän ja lumenpoistotöiden määrä vähäistä. Toisinaan syntyy syksyisin ja keväisin runsaasti liukkaita kelejä ja toisina talvina päästään tässä suhteessa huomattavasti vähemmällä. Suomessa talvihoidon tarpeet vaihtelevat merkittävästi myös alueellisesti. Pohjois- ja Etelä-Suomen ja toisaalta rannikon ja sisämaan välillä on selviä eroja talvihoidon tarpeissa ja painotumisessa. Tiestön liikenteellinen merkitys määrittelee toiselta puolen talvihoidolta vaadittavan laatutason ja sitä kautta myöskin talvihoitotoimenpiteiden laadun ja määrän.

Tiestön talvihoitoon liittyy luonnollisesti muitakin tehtäviä kuin lumenpoisto ja liukkauden torjunta. Tällaisia ovat mm. kuivatusjärjestelmien talvihoito, sääntarkkailu ja valmiuden ylläpito. Lumenpoisto ja liukkauden torjunta muodostavat talvihoidon kustannuksista kuitenkin pääosan, lähes 90 %. Tästä johtuen talvikauden ankaruutta on yleensä rajoitettu kuvaamaan lumenpoistoa ja liukkauden torjuntaa synnyttävien sääilmiöiden avulla.

Lumenpoiston osalta talvihoidon tarpeet määräytyvät pääasiallisesti lumisateiden toistuvuudesta eli kuinka monta lumisadetta talven aikana on ja ankaruudesta eli kuinka paljon kullakin kerralla lunta sataa ja kuinka kauan. Näiden päätekijöiden lisäksi lumenpoistotarpeisiin vaikuttavat mm. lumisateen laatu ja tuulet. Tiestön liukkauden syntyminen on lumenpoistoa selvästi monimutkaisempi ja vaikeammin määriteltävä ilmiö. Liukkautta syntyy monenlaisten sääilmiöiden seurauksena. Pääasiallisia tekijöitä sääilmiöissä ovat ilman ja tienpinnan lämpötila ja ilman kosteus.

Lumenpoistoa ja liukkauden torjuntaa aiheuttavia sääilmiöitä pyritään kuvaamaan sääätunnusluvuilla. Sääätunnusluvuilla tarkoitetaan perussäähavainnoista johdettuja sääilmiöitä, joiden otaksutaan synnyttävän tiestöllä em. talvihoitotoimenpiteiden tarvetta. Perussäähavainnoita on saatavissa Ilmatieteen laitoksen sääasemilta ja nykyisin myös jo hyvin kattavalta tiesääasemaverkostolta. Laskemalla yhteen talven aikana syntyneet talvihoitoa aiheuttavat sääilmiöt eli sääätunnuslukujen kertymät saadaan määritetyksi talvihoidollista ankaruutta kuvaava tunnusluku, jota kutsutaan yleisesti talvi-indeksiksi. Erillisten sääätunnuslukujen avulla voidaan muodostaa myös malli talvihoidon panosten arvioimiseksi, jolloin mallilla ennustettuja talvihoidon panoksia käytetään talven ankaruutta kuvaavana talvi-indeksinä. Talvi-indeksin avulla voidaan verrata eri talvien ankaruutta toisiinsa. Indeksia voidaan käyttää myös talvihoidon alueellisten erojen arviointiin.

Talvihoitourakoinnin avautuessa kilpailulle täytyy yhä enemmän kiinnittää huomiota urakkasopimusten oikeaan ja oikeudenmukaiseen hinnan muodostukseen, jotta tiestön talvihoidon taso voidaan tulevaisuudessa turvata sekä taloudellisesti että laadullisesti. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan järjestelmä, jossa talvihoidon urakkakilpailussa saavutettava talvihoitourakan hinta asettuu tasolle, jolla riski urakan epäonnistumisesta ei muodostu urakoitsijalle liian suureksi ja jolla lisäkompensaatio talvihoidon kannalta ankarana talven yhteydessä muodostuu riittäväksi urakoitsijan kannalta ja kohtuulliseksi tienpitäjän kannalta. Tätä tarkoitusta palvelee edellä kuvattu talvihoidollista ankaruutta kuvaava talvi-indeksi.

Tielaitoksen toimeksiannosta Ilmatieteen laitoksella vuonna 1992 kehitetty talvihoidon sääindeksi /Venäläinen ja Helminen 1998/ oli ensimmäinen merkittävä kehityssaskel talvihoitokustannusten ennustamiseen käytettävän sääpohjaisen mallin luomiseksi. Tämän lisäksi talvi-indekseistä on tehty kaksi opinnäyteselvitystä /Laine 1998, Järvinen 1998/. Lisäksi talvi-indeksimallia on lähestytty alueellisen rahanjaon näkökulmasta /Angervuori 1980/. Eo talvi-indeksimallit perustuvat kaikki Ilmatieteen laitoksen sääasemien havaintoihin. Tällä hetkellä tielaitoksen käytössä on Ilmatieteen laitoksella 1992 kehitetty talvi-indeksi, joka on toiminut joillakin alueilla suhteellisen hyvin. Maan pohjoisilla alueilla on mallin käytössä esiintynyt ongelmia.

Kansainvälisesti talvi-indeksin kehitystyötä on tehty Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Talvi-indeksiä on kehitetty Ruotsissa, Tanskassa, Saksassa, Englannissa ja Yhdysvalloissa /Gustavsson 1996, Kirk J. S. 1998, Breitenstein 1994, Hulme 1982, Johns 1996, Boselly III 1993/. Ruotsissa kehitetty indeksi on ollut yksinkertainen kolmen painotetun säämuuttujan summa, joka on muodostunut sateesta, kuurasta ja mustasta jäästä. Tanskassa talvi-indeksin laskenta suoritetaan viidellä säämuuttujalla, joiden arvot määritetään vuorokauden ajanjaksolla. Sekä Ruotsin että Tanskan talvi-indeksin määrittämiseen käytetään tiesääasemien säätietoja. Tanskassa talvi-indeksin arvoja on verrattu siellä kehitettyyn talvihoidon suoritettavuuteen eli niin sanottuun aktiviteettitasoon. Yhdysvalloissa on talvi-indeksin kehitystyö ollut samansuuntaista kuin Suomessa. Tunnettujen talvihoitotoimenpiteitä aiheuttavien sääilmiöiden pohjalta on kehitetty lineaarisia regressiomalleja, joilla ennustetaan talvihoitokustannuksia. Tämän kaltaista kehitystyötä ei muissa Pohjoismaissa ole vielä tehty, mutta Ruotsissa on harkittu regressioanalyysin käyttöä talvi-indeksin jatkokehitystyössä.

Käsillä olevassa selvitystyössä hyödynnetään ensimmäisen kerran sekä Ilmatieteen laitoksen sääasemien että tiesääasemien säähavaintoja talvi-indeksimallien kehitystyöhön. Tavoitteena on kehittää koko maan kattava luotettava talvi-indeksi työkalu sekä valtakunnallisten määrärahojen jaon tarpeisiin että alueellisen talvihoitourakoinnin tarpeisiin. Lisäksi kehitystyössä pyritään tuottamaan tietoa talvihoitotarvetta synnyttävien sääilmiöiden ajallisista ja alueellisista vaihteluista ja jakautumista.

2 SÄÄINDEKSIMALLIEN KEHITTÄMISEN LÄHESTYMISTAVAT

Talvi-indeksi voidaan rakentaa suoraan sääennustelukujen kausittaisten kertymien avulla tai panostietojen ja sääennustelukukertymien välistä mallia käyttäen. Sääennustelukujen kausittaisten kertymien mukaisessa talvi-indeksissä käytetään yleensä koko talvihoitoa (tässä lumenpoisto ja liukkauden torjunta) kuvaavaa sääennustelukujen summaa. Periaatteessa talven ankaruutta kuvaavana talvi-indeksinä voidaan käyttää myös lumenpoiston ja liukkauden torjunnan erottelevia sääennustelukukertymiä ja erikoistapauksissa myös erillisten sääennustelukujen mukaisia kertymiä. Sääennustelukuihin pohjautuvan talvi-indeksin käyttö perustuu aina alueelliseen tarkasteluun. Kertymien avulla voidaan yhtäältä kuvata ilmastollisesti rajattujen alueiden talvi-indeksin vaihtelua ja toisaalta vertailla erilaisten ilmastollisten alueiden talvihoidon tarpeita keskenään.

Panostietojen ja sääennustelukukertymien välisten mallien kehittämisessä sovelletaan yleisimmin lineaarisia regressiomalleja. Muuttujina malleissa käytetään panostietojen ja sääennustelukukertymien kuukausitasolla olevia historiatietoja. Panostietoina voidaan käyttää talvihoidon suoritteita, kustannuksia tai ns. talvihoitolähtöjen määriä. Tässä tutkimuksessa oli käytettävissä vain talvihoidon kustannuksiin perustuvia panostietoja. Sääennustelukumuuttujina ovat pääsääntöisesti yksittäisten sääennustelukujen kertymätiedot. Toissijaisesti käytetään myös sääennustelukujen yhdistelmien kertymiä.

Talvi-indeksimalleja kehitettäessä voidaan lähestymistapoina käyttää tuoteryhmittäistä, tieluokittaista ja alueellista tarkastelua. Tuoteryhmittäisessä tarkastelussa muodostetaan panostietojen ja sääennustelukujen välisiä malleja erikseen koko talvihoidolle ja eri tuoteryhmille. Tuoteryhminä voidaan käyttää lumenpoistoa, liukkauden torjuntaa ja liukkauden torjuntaa jaettuna vielä suolaukseen ja hiekoitukseen. Tieluokittaisen tarkastelun pyrkimyksenä olisi tuottaa sääindeksimalleja eri kunnossapitoluokan omaaville tiestöryhmille. Lähinnä tulisi kysymykseen päätiestön ja alemman tiestön mukainen jaottelu. Tieluokittaiseen tarkasteluun ei tässä selvitystyössä ollut kuitenkaan mahdollisuuksia, sillä ei panostietoja eikä sääennustelukutietoja ollut saatavissa kunnossapitoluokittain eroteltuina.

Alueellisen tarkastelun lähtökohtana voi olla koko maan tarkastelu yhtenä kokonaisuutena tai maa jaettuna tarkoituksenmukaisiin alueisiin. Sopivia alueita voivat olla sääoloiltaan yhtenäiset ilmastoalueet, tielaitoksen tuotannon jakoa noudattavat tuotantoalueet ja hallinnollista jakoa noudattavat tiepiirit tai tiemestaripiirit.

Alueellisten talvi-indeksimallien kehitystyössä voidaan sääennustelukukertymiä ja panostietoja soveltaa otosarvoina, keskiarvotietoina tai tiemestaripiirikohtaisina

arvoina. Ootosarvoihin perustuvissa malleissa valitaan tarkasteltavilta alueilta yksittäinen tiemestariipiiri, jonka arvot edustavat koko aluetta. Toisin sanoen valitun tiemestariipiirin panos- ja säätunnuslukutietojen välille muodostetaan malli, joka edustaa koko tarkasteltavan alueen talvi-indeksiä. Näin saatu malli edustaa tietysti parhaimmillaan pohjana olevan tiemestariipiirin sääoloja.

Keskiarvotietoihin perustuvassa lähestymistavassa käytetään mallien muodostamiseen tarkasteltavan alueen tiemestariipiirien keskimääräisiä panos- ja säätunnuslukuarvoja. Tiemestariipiirikohtaisessa tarkastelussa käytetään talvi-indeksimallien muodostamisessa alueen kaikkien tiemestariipiirien arvoja erillisinä muuttujina. Tällöin saadaan muuttujien määrä huomattavasti suuremmaksi verrattuna keskiarvotietoihin perustuvaan lähestymistapaan.

3 SÄÄINDEKSIMALLIEN LÄHTÖTIEDOT

3.1 Sää tiedot

3.11 Ilmatieteen laitoksen sääasemat

Havaintoasemat

Tutkimuksessa hyödynnetään Ilmatieteen laitoksen ns. synoptisia säähavaintoasemia. Näillä synoptisilla asemilla tehdään ympäri vuorokauden samanaikaisesti kolmen tunnin välein kattavat säähavainnot. Havainnot sisältävät tiedot ilman lämpötilasta ja kosteudesta, tuulen nopeudesta ja suunnasta, pilvisyydestä, vallitsevasta säästä ja näkyvyydestä. Aamulla ja illalla mitataan lisäksi edellisen 12 tunnin sadekertymä sekä 12 tunnin alin ja ylin lämpötila ja lumen syvyys. Tässä tutkimuksessa käytetyt havaintoasemat on lueteltu taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Tutkimuksessa käytetyt Ilmatieteen laitoksen havaintoasemat.

Aseman numero	Aseman nimi	Aseman numero	Aseman nimi
1	Ahvenanamaa, Maarianhamina	3401	Viitasaari, kirkonklä
101	Hanko, Russarö	3601	Kuopio, lentokenttä
301	Helsinki-Vantaa, lentoasema	3801	Joensuu, lentokenttä
302	Inkoo, Bågaskär	3902	Ilomantsi, kirkonkylä
501	Kotka, Rankki	4101	Pietarsaari
1001	Pori, lentoasema	4201	Kruunupyy, lentokenttä
1002	Rauna, Kuuskajaskari	4302	Nivala
1101	Turku, Lentoasema	4601	Kajaani, Paltaniemi
1201	Jokioinen, Observatorio	5401	Oulu, lentokenttä
1215	Tampere-Pirkkala, lentoasema	5601	Pudasjärvi, Kurenalus
1401	Lahti, Laune	5801	Suomussalmi, kirkonkylä
1501	Utti, lentokenttä	6301	Kemi, lentokenttä
1701	Lappeenranta, lentokenttä	6801	Kuusamo, kirkonkylä
2101	Kankaanpää, Niinisalo	7307	Pello, kirkonkylä
2301	Kuorevesi, lentokenttä	7401	Rovaniemi, lentokenttä
2401	Jyväskylä, lentokenttä	7501	Sodankylä, Observatorio
3001	Vaasa, lentokenttä	7701	Salla, kirkonkylä
3003	Mustasaari, Valassaaret	8201	Muonio, kirkonkylä
3201	Kauhava, lentokenttä	9601	Inari, Ivalo
3301	Ahtäri, Myllymäki	9603	Utsjoki, Kevo

Käytettyjä synoptisia säähavaintoasemia on yhteensä 40 kpl ja ne kattavat varsin hyvin maan koko alueen (kuva 3.1). Pohjois-Suomessa asemaverkko on kuitenkin jonkin verran Etelä-Suomea harvempi.



Kuva 3.1. Työssä käytetyt Ilmatieteen laitoksen säähavaintoasemat.

Aineiston peruskäsittely

Ilmatieteen laitoksen säähavainnot on tallennettuina ilmastotietokantaan. Laitoksen tällä hetkellä käyttämä tietokantaohjelmisto on ORACLE. Ennen tallentamista tietokantaan kaikki säähavainnot on tarkastettu virheellisten arvojen poistamiseksi. Havaintojen tarkastus tapahtuu lähes kokonaan automaattisesti ja ensimmäinen tarkastus tapahtuu jo asemalla ennen tietojen viestitystä. Testit, joiden avulla tietojen oikeellisuus tarkastetaan, ovat: puuttuvuustestit, ääriarvotestit (testirajoina käytetään kunkin parametrin ja asema- ja kuukausikohtaisia jopa 40 vuoden maksimi- ja minimiarvoja tai sitten aluearvoja), ristiriitaisuustestit (parametri ei saa olla ristiriidassa saman havaintohetken muiden parametrien kanssa), poikittaistestit (parametriä verrataan muiden parametrien eri havaintoaikojen arvoihin), jatkuvuustestit (jatkuvan tai sellaiseksi katsottavan parametrin muutosnopeus ei saa ylittää tiettyä raja-

arvoja). Jos jokin havainto ei läpäise yllä lueteltuja testejä tarkastetaan havainnon oikeellisuus manuaalisesti.

Tavoitteena on karsia mahdolliset vakavat virheet kokonaan. Epäilyttävät arvot tarkastetaan manuaalisesti mahdollisimman pikaisesti käyttäen apuna mm. naapuriasemien tietoja, piirturiliuskoja, sääanalyysijä ja sademäärien osalta tutkadataa. Ilmastotietokantaan tallennettuja säähavaintoja voidaankin pitää luetettavina ja myös puuttuvien havaintojen määrä on hyvin vähäinen.

Säätunnuslukujen määrittäminen ja aineiston käsittely

Säätunnusluvuilla tarkoitetaan perussäähavainnoista johdettuja sääilmiöitä, joiden otaksutaan synnyttävän tiestöllä talvihoitotoimenpiteiden, liukkauden torjunta tai lumenpoisto, tarvetta. Säätunnuslukujen määrittely on esitetty yksityiskohtaisesti luvuissa 4.2 ja 4.3.

Ilmatieteen laitoksen säähavaintoja hyödynnetään säätunnuslukujen pitkän ajan arvojen ja vaihteluiden selvittämiseksi sekä varsinaisen tarkasteluajanjakson 1992-1998 säätunnuslukujen määrittämiseen. Pitkän ajan säätunnuslukuarvot määritetään 30-vuotiselta jaksolta 1968-1997. Jakson pituus on joidenkin asemien kohdalla vähän lyhyempi, koska osalla asemista on toiminta lopetettu jakson aikana, tai toiminta on aloitettu vasta havaintojakson aikana. 30-vuoden jakson pohjalta lasketaan sääasemittain talvikuukausien kalenterivuosittaiset summa-arvot eri säätunnusluvuille. Summa-arvojen pohjalta lasketaan säätunnuslukujen asemakohtaiset tilastolliset tunnusluvut, kuten keskiluvut ja keskihajonnat.

Säätunnuslukujen valtakunnallisten jakaumien ja alueellisten arvojen määrittämistä varten interpoloidaan asemakohtaiset säätunnuslukuarvot 10×10 km hilaruudukkoon kriging-interpolointi menetelmän avulla /Henttonen 1991, Venäläinen ja Heikinheimo 1997/. Menetelmän teoreettisen pohjan on esittänyt /Ripley 1981/ ja Ilmatieteen laitoksella käytetyn ohjelman on alunperin tehnyt /Henttonen 1991/. Kriging-menetelmässä meteorologinen suure esim. lämpötila (Z) jossakin hilaruudussa (x) arvioidaan kahden komponentin summana. Toinen komponentti on tasaisesti vaihteleva ns. trendipinta ($M(x)$) ja toisen pinnan muodostaa jäännöstermi, jota usein kutsutaan flukтуаatioksi ($e(x)$), eli $Z(x) = M(x) + e(x)$. Molemmat pinnat ovat interpoloinnin alussa tuntemattomia. Trendipinta kuvaa interpoloitavan muuttujansuurskaalaista vaihtelua ja se lasketaan keskenään korreloimattomien, fysikaalisesti mielekkäiden muuttujien avulla. Tällaisia muuttujia ovat esimerkiksi järvien määrä hilaruudukossa, meren läheisyys, maaston korkeus ja maantieteellinen sijainti. Trendipintaa kuvaa yhtälö (3.1)

$$M(x,y,h,s,l)=a_0+a_1x+a_2y+a_3x^2+a_4y^2+a_5xy+a_6h+a_7s+a_8l$$

(3.1)

,missä

$a_0...a_8$	vakioita
x,y	maantieteellinen sijainti
h	korkeus merenpinnasta
s	meren osuus hilaruudun pinta-alasta
l	järvien osuus hilaruudun pinta-alasta

Jokaisessa interpolointiajossa vakioiden $a_0...a_8$ arvot lasketaan havaintojen avulla pienimmän neliösumman menetelmällä.

Trendipinta, jota yhtälö (3.1) kuvaa, ei yleensä kulje kaikkien havaintoarvojen kautta ja tämän vuoksi lopullinen interpoloitu kenttä muodostetaan kahden komponentin, trendin ja fluktuaation, summana. Havaintopisteiden kohdalla fluktuaatio on havaittu arvo–trendi-pinta ja havaintopisteen ympärillä fluktuaatio lähenee isotrooppisesti trendi-pintaa.

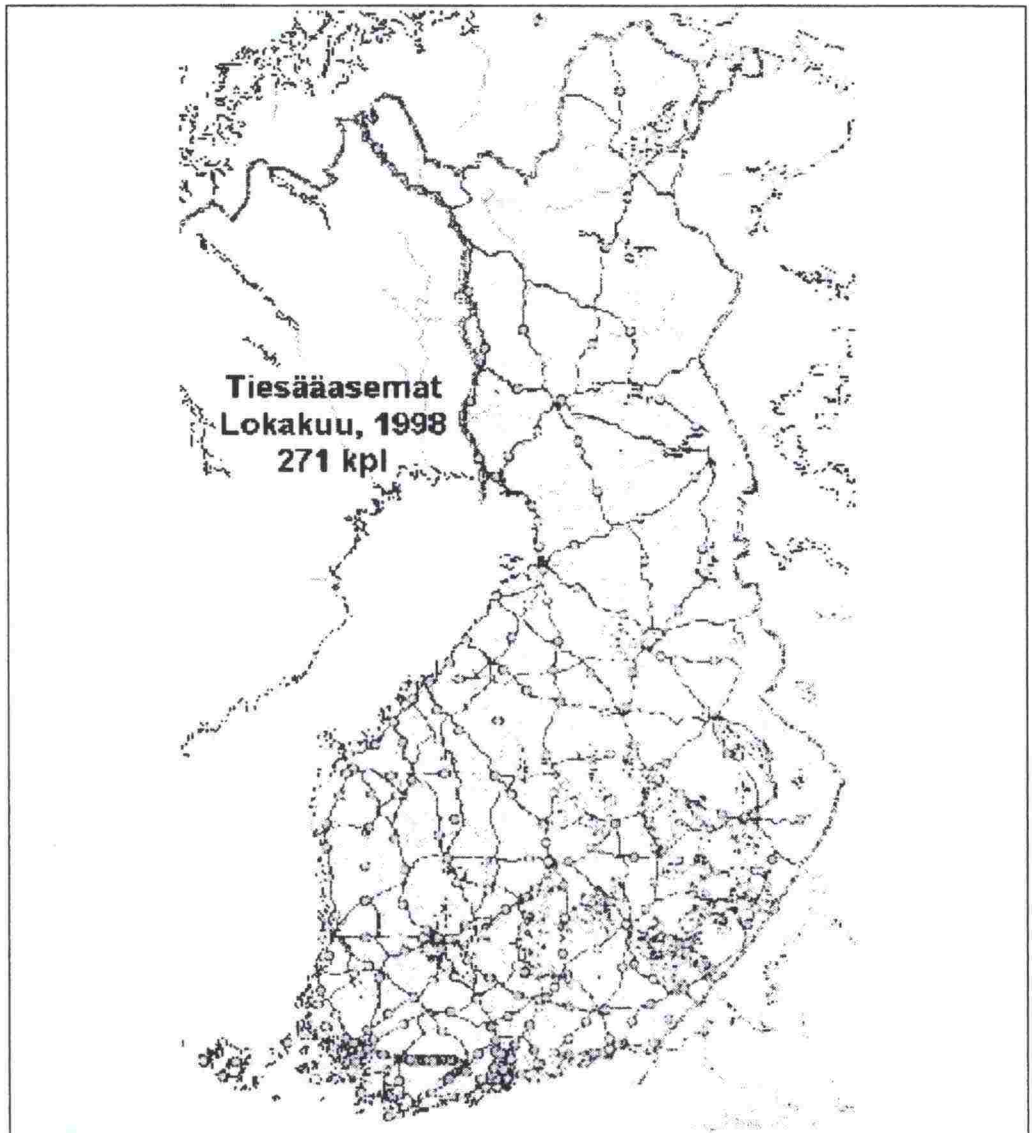
Valtakunnallisten jakaumien tarkasteluun käytetään 30 vuoden jakson säätunnusluokuarvoja. Tätä varten lasketaan hilaruudukkoon säätunnuslukukertymien vuosikeskiarvot kyseessä olevalta ajanjaksolta. Alueellisten arvojen tarkastelua varten määritetään hilaruudukkoon varsinaisen tarkasteluajanjakson 1992-1998 talvikuukausittaiset säätunnuslukukertymät. Näitä arvoja käytetään säätunnuslukukertymien ja talvihoidon panostietojen välisten yhteyksien selvittämiseen ja talvi-indeksimallien kehittämiseen.

3.12 Tiesääasemat

Asemaverkosto ja sen kattavuus

Suomessa tiesääjärjestelmän kehitystyön aloitti liikenneministeriö keväällä 1980. Tiesääjärjestelmän kehittämismahdollisuuksia selvittämään perustettiin johtoryhmä ja sitä avustamaan työryhmä. Ministeriön projektin yhteydessä kokeiltiin tiesääpalvelua pääkaupunkiseudulla ja Turun tiepiirissä. 1980-luvun puoliväliin mennessä pääkaupunkiseudun mukainen kokeilu oli laajentunut osittain Turun ja Hämeen tiepiirien alueelle.

Vuosi 1987 oli merkittävä tiesääpalvelujärjestelmän kehittämisen kannalta. Tielaitos teki kyseisenä vuonna alustavien selvitysten perusteella päätöksen koko maan kattavan tiesääpalvelujärjestelmän kehittämisestä. Päätös merkitsi uusien tiesääasemien käyttöönottoa koko maassa ja niiden asteittaista lisäämistä vuosittain (n. 20–30 kpl/v alkuvaiheessa). Tiesääasemia oli käytössä talvella 1989–1990 jo 66 kappaletta. Tiesääasemien määrä oli lisääntynyt 200 kappaleeseen talveen 1994–1995 mennessä. Vuoden 1998 lopussa asemia oli 271 kappaletta koko maan alueella (kuva 3.2).



Kuva 3.2 Tiesääasemien sijainti Suomessa vuonna 1998.

Säähavainnot

Tiesääasemat mittaavat useita perussäämuuttujia, kuten esimerkiksi ilman lämpötila ja tuulen nopeus, sekä perussäämuuttujista johdettuja muuttujia, kuten kastepiste-lämpötila. Taulukossa 3.2 on esitetty säähavainnot, joita tiesääasemat mittaavat ja

jotka alustavasti valittiin hyödynnettäväksi tässä kehitystyössä. Tiesääasemilla mitataan myös monia muita muuttujia, joita ei hyödynnetä tässä työssä.

Taulukko 3.2. Tiesääasemilta palautettavat säähavainnot.

Anturin numero	Mitattava suure	Kuvaus
1	lämpötila	ilman lämpötila
3	lämpötila	tiennpinnan lämpötila tieanturi 1: ssä
5	lämpötila	tiennpinnan lämpötila tieanturi 2: ssa
9	lämpötila	kastepistelämpötila. Lämpötila, jossa ilman suhteellinen kosteus on 100 %.
16	tuulen nopeus	tuulen keskimääräinen nopeus 10 minuutin ajalta
17	tuulen nopeus	tuulen maksiminopeus 10 minuutin ajalta
18	tuulen suunta	tuulen keskimääräinen suunta 10 minuutin ajalta
21	ilman kosteus	ilman suhteellinen kosteus
27	keli	kelitieto 1 asemalla
28	keli	kelitieto 2 asemalla
41	anturivika	

Tiesääasemilla mitattavista säämuuttujista koko maan kannalta luotettavimpina pidetään lämpötilatietoja. Tuulesta mitattavat suureet voivat olla luotettavia niillä asemilla, joiden sijainti on edullinen tuulen mittaamisen kannalta. Kelitietoja ei hyödynnetä tässä työssä, koska ne eivät ole riittävän luotettavia koko ajanjaksolla. Sää-tunnuslukujen kehittämiseen valittiin käytettäväksi vain tiennpinnan ja ilman lämpötilat sekä kastepistelämpötilat.

Tiesääasemien säätietoja on tallennettu samassa formaatissa koko Suomen alueella lokakuusta 1992 lähtien. Aikaisemmin on joissakin tiepiireissä tallennettu eri formaatissa samoja tietoja, mutta ilman havaintoajan tallentamista. Tämä tekee näiden tietojen käyttämisen mahdottomaksi samalla tarkkuudella kuin lokakuusta 1992 lähtien tallennettuja tietoja voidaan käyttää. Tarkasteluajanjaksoksi on tässä tutkimuksessa valittu vuosien 1992-1998 talvikuukaudet. Talvikuukausiksi on määritetty tammi-, helmi-, maaliskuu-, huhti-, loka-, marras- ja joulukuu.

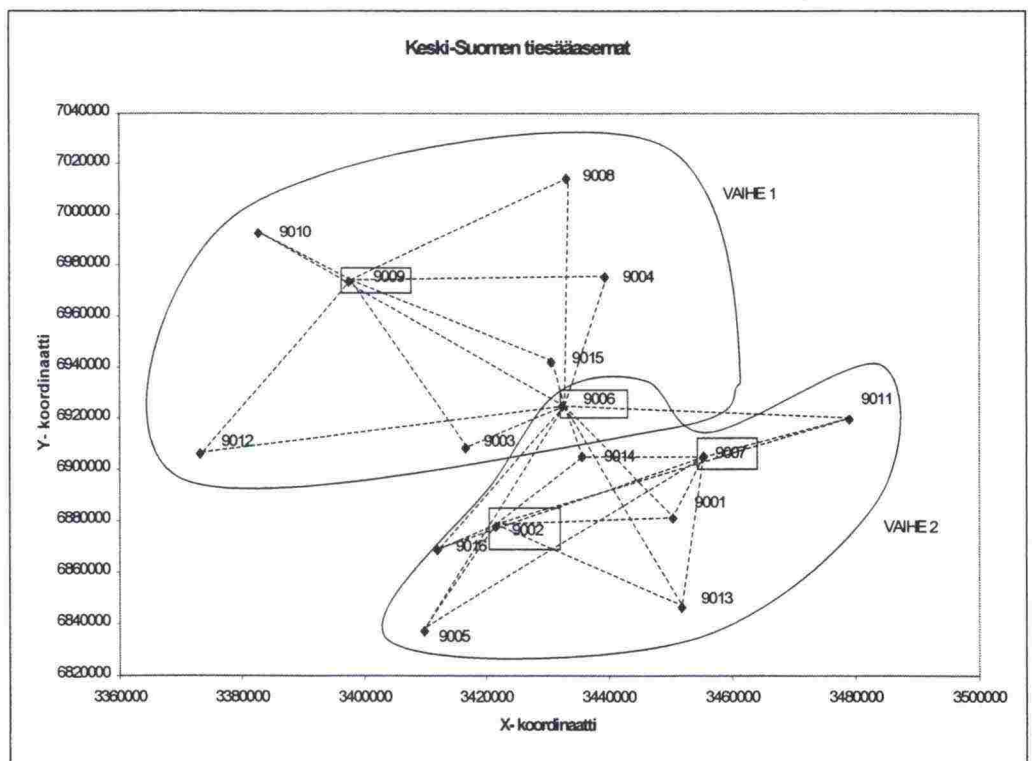
Aineiston peruskäsittely

Tiesääasemien säähavainnot on tallennettu pääosin DAT-nauhoille (1990-1997), ja lisäksi uusimmat tiedot on tallennettu CD-ROM-levyille (1997-). DAT-nauhoille on tallennettu yhden tiepiirin tiesääasemien säätiedot yhden kuukauden ajalta. CD-ROM-levyille on tallennettu kaikkien tiesääasemien säätiedot puolen vuoden ajalta jokainen päivä omana tiedostonaan. DAT-nauhojen tiedot palautettiin Unix-käyttöjärjestelmässä, jossa muokattiin myös CD-ROM-levyjen tiedostoja. Muokatut tiedot siirrettiin PC-koneen tiedostoihin jatkokäsittelyä varten.

Tiesääasemien säätiedoista tehtiin jokaiselle yhdeksälle tiepiirille oma tietokanta, johon tallennettiin kunkin tiepiirin kaikki palautetut säähavainnot. Uusimpia säätie-

Aineiston laatu ja laajuus

Tiesääasematietojen tarkastus suoritetaan vertaamalla vierekkäisten tiesääasemien lämpötilatietoja keskenään (kuva 3.3). Jokaisen tiepiirin sisällä valittiin yhteen tarkastusvaiheeseen useampi tiesääasema siten, että tarkastusvaiheita tuli vähintään kaksi kappaletta. Tällä tavoin saatiin vertailtavien asemien väliset etäisyydet mahdollisimman lyhyiksi. Lisäksi valintakriteereinä oli tiesääasemien sijainti koordinaatistossa sekä yhteen vaiheeseen tulevien tiesääasemien määrä.

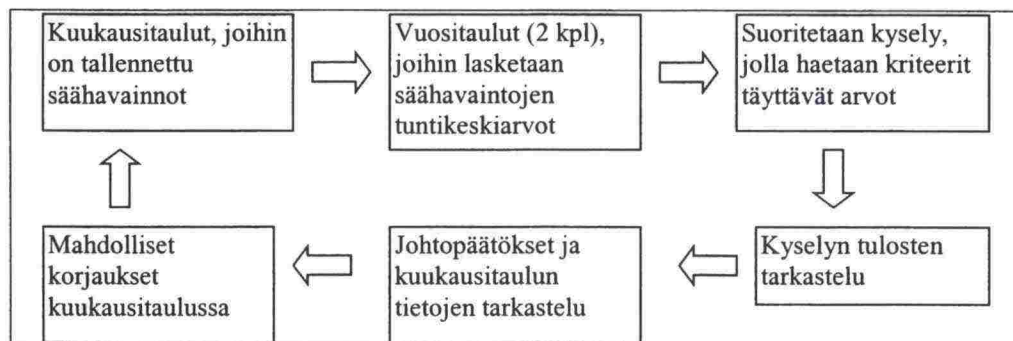


Kuva 3.3 Tiesääasemien säätietojen vertailu Keski-Suomen tiepiirissä.

Jokaisessa vaiheessa valitaan vähintään 2 tiesääasemaa (kuvassa 3.3 merkitty suora-kaiteilla), joihin muiden saman vaiheen tiesääasemien lämpötilatietoja verrataan. Vertailutiesääasemat valitaan siten, että tiesääasemalta on olemassa tietoja koko ajanjaksolta. Kun siirrytään vaiheesta toiseen, käytetään edellisessä vaiheessa olleita

yhtä tai kahta asemaa uusien asemien lämpötilahavaintojen vertailuun. Tällöin edellisessä vaiheessa tarkastettujen ja korjattujen tiesääasemien tietoja hyödynnetään seuraavan vaiheen tiesääasemien säätiöjen tarkastamiseen.

Tarkastus suoritetaan vaiheittain jokaisessa tiepiirissä erikseen vuosina 1992-1997. Vuoden 1998 tiedot oletetaan laadullisesti paremmiksi kuin jakson 1992-1997 tiedot ja näin ollen vuoden 1998 tiedot jätettiin tarkistamatta. Aluksi lasketaan yhteen tau-luun vaiheen yksi tiesääasemien yksittäisen vuoden tuntikeskiarvot tienpinnan, ilman ja kastepistelämpötilatiedoista (kuva 3.4). Kahden identtisen vuositaulun perusteella suoritetaan kysely, jolla lasketaan vertailtavien tiesääasemien (kuva 3.3: katkoviivalla yhdistettyjen) saman ajanhetken lämpötilakeskiarvojen erotus. Kyselyllä haetaan poikkeavia arvoja sisältävät tietueet, joita tarkastellaan lähemmin kyselyn tuottamassa tulosjoukossa. Jos tässä joukossa havaitaan selvästi "vääriä" arvoja, tarkastellaan alkuperäisen kuukausitaulun tietoja ja tehdään muutoksia tarpeen vaatiessa. Kyselyssä käytettiin kriteereinä sekä ilman lämpötilojen että kastepiste-lämpötilojen erotukselle 10 °C ja tienpinnan lämpötilojen erotukselle 7 °C. Näiden lisäksi haettiin tyhjiä (null) kenttiä.



Kuva 3.4 Tiesääasemien lämpötilatietojen tarkastusprosessi tiepiiri-tietokannassa. Sama prosessi käydään läpi jokaiselle vuodelle erikseen.

Lämpötilatietoja tarkastettaessa havaittiin poikkeavia ja puuttuvia arvoja kaikissa lämpötilatiedoissa. Poikkeavat arvot vaihtelivat 50 – 60 °C ja -50 – -60 °C välillä. Nämä arvot poikkesivat saman ajanhetken muiden asemien arvoista noin 20 astetta. Anturitiedoissa havaittiin myös yksittäisessä anturissa puuttuvia arvoja, jotka ilmenivät tyhjinä kenttinä. Puuttuvat arvot pyrittiin korvaamaan muilla vastaavilla arvoilla, jos sopivia anturitietoja oli käytössä. Tässä tapauksessa kyseeseen tulivat vain tienpinnan lämpötilatiedot, jos samalla asemalla oli tallennettu kahdelta vierek-käiseltä anturilta tietoja ja toisen anturin tiedoissa ei ollut poikkeavia tai puuttuvia arvoja. Havaitut puutteet, korjaukset ja poikkeavat arvot esitetään liitteessä 2.

Syitä poikkeavien ja puuttuvien arvojen syntyyn on monta. Tärkein poikkeavia arvoja aiheuttava tekijä on jossain anturissa oleva toimintahäiriö. Kastepistelämpötilassa havaitut poikkeavat arvot aiheutuivat ilman kosteus- tai lämpötila-anturin tai kastepistelämpötila-anturin toimintahäiriöstä. Tienpinnan- ja ilman lämpötila-anturin tuottamat poikkeavat arvot aiheutuivat pääasiassa kyseisten anturien toimintahäiriöistä.

Poistettujen ja puuttuvien arvojen merkitys säätunnuslukukertymiin on erittäin pieni. Koska säätunnusluvut lasketaan jokaiselle asemalle erikseen, esimerkiksi koko piirin säätunnuslukukertymään tai sen keskiarvoon on yhden aseman puutteilla pieni merkitys. Puutteiden ajankohdat ajoittuvat useasti joko huhtikuun loppuun tai lokakuun alkuun, jolloin ei yleensä suoriteta talvihoitotoimenpiteitä. Useissa tapauksissa tienpinnan lämpötila voitiin korvata toisella tienpinnan lämpötila-anturin tiedolla, joten tällöin puutteellista tietoa ei syntynyt. Lisäksi säätunnuslukujen alueellisten arvojen laskentamenetelmä (interpolointi) vähentää yhden aseman puutteellisten tietojen merkitystä.

Käytettävät lämpötilatiedot ovat laajuudeltaan erittäin merkittäviä, koska asemia on paljon, ja asemia on koko Suomen alueella painottuen Etelä- ja Lounais-Suomeen. Lisäksi lämpötilatietojen ajallinen kattavuus on riittävä, jotta voidaan laskea säätunnuslukujen keskiarvoja. Tarkastelujakson alusta (lokakuu 1992) lähtien tiesääasemia on ollut käytössä 124 kappaletta, ja asemia on ollut jokaisen tiepiirin alueella.

Säätunnuslukujen määrittäminen ja aineiston käsittely

Tiesääasemilta saatavat tienpinnan, ilman ja kastepisteen lämpötilat antavat erityisen hyvät lähtökohdat liukkauden syntyä ja samalla liukkaudentorjuntatarvetta kuvaavien säätunnuslukujen määrittämiselle. Lumenpoistotarpeeseen liittyviä säätunnuslukuja ei sen sijaan tiesääasemilta ole määritettävissä. Tiesääasemien säätunnuslukujen tarkasteluajanjaksona on käytetty samaa vuosien 1992-1998 ajanjaksoa kuin edellä ilmatieteen laitoksen arvojen tarkastelussa.

Tiesääasemilla tehdään säähavaintoja 20-50 minuutin välein. Säätunnuslukukertymien määrittämiseksi lasketaan erikseen kaikkien tiesääasemien ilman, tienpinnan ja kastepistelämpötilojen arvoista tuntikeskiarvot jokaiselle tarkastelujakson tunnille. Tuntikeskiarvotietojen perusteella määritetään ajankohdat, jolloin säätunnuslukujen ehdot täyttyvät ja liukkautta syntyy tienpinnalle.

Lapin tiepiirille tehdyn selvityksen yhteydessä olimme saaneet tutkimuskäyttöön Lapin tiepiirin tiesääasemien tiedot, jotka oli harvennettu kolmen tunnin välein tehdyiksi havainnoiksi /Laine, 1998/. Päätimme käyttää näitä havaintoja myös tässä tutkimuksessa ja näin ollen säätunnuslukukertymien yhteensopivuuden kannalta päätimme käyttää koko maan aineistosta kolmen tunnin välein tehtäviä havaintoja.

Tiesääasemien havainnoista johdettuja säätunnuslukuja käytetään tarkasteluajanjakson vuosittaisten (talvikuukaudet) arvojen ja vaihteluiden selvittämiseen sekä säätunnuslukukertymien ja liukkauden torjunnan panostietojen välisten yhteyksien tarkasteluun ja talvi-indeksimallien kehittämiseen. Panostietojen ja säätunnuslukujen välisten yhteyksien selvittämiseen käytetään molempien osalta talvikuukausittaisia arvoja.

Säätunnuslukujen valtakunnallisten jakaumien ja alueellisten arvojen määrittämistä varten interpoloidaan tiesääasemakohtaiset arvot 3×3 km hilaruudukkoon Kriging- ja IDW-interpolointimenetelmällä. Valtakunnallisten jakaumien määrittämiseen käytetään tarkasteluajanjakson säätunnuslukukertymien vuosikeskiarvoja. Alueellisten arvojen määrittämisessä hyödynnetään sekä vuosittaisia että talvikuukausittaisia säätunnuslukujen kertymiä. Vuosiarvoja käytetään alueellisten arvojen ja vaihteluiden selvittämiseen ja talvikuukausittaisia arvoja säätunnuslukukertymien ja liukkaudentorjunnan panostietojen välisten yhteyksien selvittämiseen ja talvi-indeksimallien kehittämiseen.

Tiesääasemilta määritettävien säätunnuslukujen valtakunnallisten vuosikeskiarvojaksumien interpolointiin käytetään tavallista Kriging-interpolointimenetelmää, joka poikkeaa jonkin verran Ilmatieteen laitoksen käyttämästä vastaavasta menetelmästä. Kummatkin menetelmät kuuluvat samaan interpolointiperheeseen, joten laskentaperusteet ovat samat. Tavallisessa kriging-interpolointimenetelmässä spatiaalinen vaihtelu esitetään kahden komponentin avulla: rakenteellinen ja satunnainen spatiaalisesti korreloitunut komponentti. Rakenteellinen komponentti kuvataan koko tutkimusalueen keskiarvona, joka vastaa Ilmatieteen laitoksen trendipintaa. Satunnainen, spatiaalisesti korreloitunut komponentti määritetään tutkittavalle alueelle laskettuun semivariogrammin arvoihin sovitettavalla lineaarisella yhtälöllä. Yhtälöä hyödynnetään interpoloinnissa määrittäessä etsintäsäde ja painot interpoloitavan pisteen naapuripisteille. Painot valitaan siten, että laskettu estimaatti on harhaton ja estimaatin varianssi on pienempi kuin minkään muun lineaarisesti muodostetun estimaatin varianssi. /Ripley, 1981; Tokola ja muut 1994/

Tarkastelujakson kuukausi- tai vuositason säätunnuslukukertymätiedot interpoloidaan 3×3 km hilaruudukkoon Inverse Distance Weighted (IDW)-interpolointimenetelmällä ArcView -paikkatieto-ohjelmistolla. Solun arvo lasketaan siten, että jokaisen laskentaan käytettävän pisteen arvoa painotetaan pisteen etäisyyden käänteisarvolla laskettavasta solusta ja tämän jälkeen lasketaan pisteiden painotettujen arvojen keskiarvo. Laskentaa varten annetaan seuraavat alkuarvot: laskentaan käytettävien pisteiden määrä on 6, etäisyyden eksponentti on 2 ja rajoja ei käytetä. Tiemestaripiirien arvot lasketaan tiemestaripiirien sisällä olevien solujen keskiarvona.

3.2 Talvihoidon kustannus- ja suorit tiedot

3.21 Kustannukset, suorit teet ja talvihoitolähdöt

Tiestön talvihoidon työ määrää 1990-luvulla on mitattu pääasiallisesti suoritemäärillä ja kustannuksilla. Talvihoidosta on kerätty tietoja myös toimenpidekertojen lukumäärästä, mutta nämä tiedot ovat varsin epäluotettavia. Tämä aiheutuu siitä, että

talvihoitotoimenpiteistä ei ole ollut välttämätöntä raportoida keli- tai liikennekeskuksiin, joissa tietoja on tallennettu. Lisäksi tietojen tallennusformaatti ja tallennuksen määrä ja laatu vaihtelee tiepiireittäin tarkasteluajanjaksolla. Talvihoidon suorittemäärien hyödyntämistä vaikeuttaa tietojen saatavuus ja tarkasteluajanjaksolla kerättyjen tietojen yksiköiden muutokset. Esimerkiksi aurauksen suorittemäärän yksikkönä on käytetty sekä tie- että juoksukilometrejä. Kuitenkin suolausta on mitattu tonneissa. Suolauksessa käytettävän suolan määrää on vähentänyt työmenetelmien kehitys ja suolauksen ajoituksen tarkentuminen lisääntyneen sääinformaation kautta.

Talvihoidon kustannustiedot ovat ainoa yhtenäinen, yhdellä yksiköllä mitattu ja kohtuullisen helposti saatavilla oleva talvihoidon mittari. Tässä tutkimuksessa hyödynnetään talvihoidon kustannuksia edellä mainitusta syystä. Kustannusten hyödyntämisessä on huomioitava ne muutokset, jotka ovat vaikuttaneet kustannusten muodostumiseen tarkastelujaksolla. Näitä muutoksia ovat mm. tiemestaripiirien yhdistämiset ja talvihoidettavan tieverkon pituuksien muutokset tiemestaripiireittäin.

3.22 Kustannustietolähteet

Tielaitos on tallentanut teiden talvihoidosta rekisteröityjä kustannuksia keskitetysti vuoteen 1996 saakka. Vuoden 1997 kustannustiedot ovat eri lähteestä, ja kustannuslaskenta on muuttunut kyseisenä vuonna (TAHA – PROSIT). Vuoden 1997 kustannukset saatiin Tuotannon taloushallintajärjestelmästä Prosit Open. Kustannuksissa havaittiin selvä yhteensopimattomuus edellä mainittujen kustannustietolähteiden välillä, joten vuoden 1997 kustannustiedot päätettiin jättää hyödyntämättä.

3.23 Kustannusten laatu ja laajuus

Talvihoitokustannuksia on tallennettu tarkastelujaksolla 1992-1998 kaikissa tiemestaripiireissä, mutta tallennus on tapahtunut vaihtelevalla tarkkuudella ja vaihtelevin ajanjaksoin (liite 3). Kustannustietoja on seurattu sekä 10- että 100-litteratasolla. Kustannuksia on jaettu 10-litteroille, jos ne on voitu kohdistaa tietylle kustannusobjektille eli talvihoitolitteralle. Kustannukset, joille ei ole ollut järkevää kohdistamisperustetta, on jätetty kohdistamatta 10-litteroille ja tallennettu 100-litteralle. Oulun, Hämeen ja Uudenmaan tiepiirien tiemestaripiireissä kustannuksia ei ole tallennettu 10-litteroille vuosina 1994-1995. Muina vuosina kustannukset on kohdennettu 10-litteratasoille.

Keski-Suomen tiepiirin saatavilla olevat kustannustiedot rajoittuvat vuosille 1992-1994 ja osittain vuodelle 1997. Kaakkois-Suomen tiepiirin kustannustiedot puuttuvat vuosilta 1994-1996. Lapin, Vaasan, Turun ja Savo-Karjalan tiepiirien tiemestaripiireistä saadaan kustannustietoja tallennettuna 10-litteroille koko tarkastelujaksolla.

3.24 Kustannustietojen muokkaus

Tiemestaripiirejä on tarkasteluajanjaksolla yhdistelty kyseisellä ajanjaksolla sekä kokonaan että osittain toisiin tiemestaripiireihin, joten tämä täytyy ottaa huomioon kustannustietoja muokattaessa. Lisäksi on otettava huomioon tiemestaripiireissä tapahtuneet talvihoidettavan tieverkon pituuksien muutokset sekä yleisessä kustannustasossa tapahtuneet muutokset. Tiemestaripiiritason talvi-indeksimallinnuksia varten joudutaan lisäksi määrittämään kustannusten alueellinen tasauserroin, jolla tasataan eri tiemestaripiirien talvihoitoluokittaisen tieverkon erilaisuudesta aiheutuva kustannustasoero.

Kustannustietojen muokkausta varten pyydettiin tiepiireistä selvitykset tiemestaripiirien hankenumeroinnista ja niiden muutoksista tarkastelujaksolla sekä talvihoidettavan tieverkon tiepituudet. Näiden tietojen perusteella määritetään nykyisten tiemestaripiirien muodostamisessa käytetyt tiemestaripiirit.

Tiemestaripiirien talvihoidettavan tieverkon pituuden muutosten vaikutus vuositason talvihoitokustannuksiin otetaan huomioon kaavan 3.2 mukaisella korjauskertoimella.

$$KK_{v,tmp} = \frac{TTP_{1997,tmp}}{\sum_{tmp=i}^n TTP_{v,tmp}} \quad (3.2)$$

,missä

$KK_{v,tmp}$ on kustannusten korjauserroin vuonna v
tiemestaripiirissä tmp

$TTP_{1997,tmp}$ talvihoidettavan tieverkon pituus
tiemestaripiirissä tmp vuonna 1997

$\sum TTP_{v,tmp}$ talvihoidettavan tieverkon pituuksien summa
tiemestaripiiriin tmp yhdistetyissä tmp: issä vuonna v

Talvihoitokustannusten alueellinen tasauserroin määritetään kaavan 3.3 avulla. Tasauskertoimen laskennassa on Kankaanpään tiemestaripiiri valittu, vertailualueeksi, jonka kustannustasoon muiden tiemestaripiirien talvihoitokustannukset korjataan. Tasauserroin lasketaan erikseen talvihoito-, lumenpoisto- ja liukkaudentorjuntakustannuksille.

$$AK_{tmp} = \frac{THK_{Kankaanpää}}{THK_{tmp}} \quad (3.3)$$

,missä

THK_{tmp} on talvihoitokustannukset tiemestaripirissä tmp

$THK_{Kankaanpää}$ talvihoitokustannukset Kankaanpään tiemestaripirissä

$THK_{Kankaanpää}$ ja THK_{tmp} määritetään talvihoitoluokittaisten tiepituuksien ja yksikkökustannusten perusteella kaavojen 3.4 ja 3.5 mukaisesti.

$$THK_{tmp} = Isk * Ksk + Is * Ks + I * K1 + Ib * Kb + II * K2 + III * K3 \quad (3.4)$$

$$THK_{Kankaanpää} = Isk * Ksk + Is * Ks + I * K1 + Ib * Kb + II * K2 + III * K3 \quad (3.5)$$

,missä

Isk, Is, I, Ib, II, III

talvihoitoluokittaiset tiepituudet

$Ksk, Ks, K1, Kb, K2, K3$

talvihoitoluokittaiset yksikkökustannukset (mk/km)

Liitteessä 4 on esitetty laskentaesimerkki ja lasketut korjauskertoimet vuosittaisten ja alueellisten muutosten huomioonottamiseksi.

Yleisessä kustannustasossa tapahtuneet vuositasen muutokset korjataan tienrakennuskustannusindeksillä (taulukko 3.3). Indeksien muutokset eivät ole kovin suuria tarkastelujaksolla 1992-1997. Tarkastelujakson perusvuodeksi valitaan vuosi 1997, jonka tasoon tarkastelujakson muiden vuosien kustannukset korjataan.

Taulukko 3.3. Tarkastelujakson 1992-1997 tienrakennuskustannusindeksin arvot.
/Maarakennuskustannusindeksi 1998/

Vuosi	Tienrakennuskustannusindeksi	Kerroin
1992	130	1,046
1993	127	1,071
1994	131	1,038
1995	134	1,015
1996	133	1,023
1997	136	1

Lopulliseen tarkasteluun lasketaan korjatuista kustannuksista kuukausiarvot lumenpoistokustannuksille (kaava 3.6) ja liukkaudentorjuntakustannuksille (kaava 3.7) sekä talvihoidon kokonaiskustannuksille (kaava 3.8).

$$K_{lp} = \sum_{litt=9120}^{9149} K_{litt} \quad (3.6)$$

, missä

K_{lp} on lumenpoistokustannukset

K_{litt} litteroiden 9120-9149 kustannukset

Lumenpoistokustannuksiin sisältyvät:

- lumen auraus
- pinnan taseaus
- muut lumenpoistoon liittyvät työt

$$K_{lt} = \sum_{litt=9150}^{9169} K_{litt} \quad (3.7)$$

, missä

K_{lt} on liukkaudentorjuntakustannukset

K_{litt} litteroiden 9150-9169 kustannukset

Liukkaudentorjuntakustannuksiin sisältyvät:

- suolaus
- hiekoitus

$$K_{TH} = K_{lp} + K_{lt} + K_{9100} \quad (3.8)$$

, missä

K_{TH} on talvihoidon kokonaiskustannukset

K_{9100} 9100-litteran kustannukset

100-litteralle on jätetty kustannukset, joille ei ole ollut perusteita jakaa 10-litteroille

4 SÄÄTUNNUSLUKUJEN KÄYTTÖ TALVEN ANKARUUDEN KUVAAMISEEN

4.1 Sääntunnukslukujen käytön periaatteet

Teiden talvihoitoa aiheuttavia säätiloja pyritään kuvaamaan sääntunnuksluvuilla, joita käytetään talvi-indeksin arvon määrittämiseen. Sääntunnuksluvut määritetään siten, että ne kuvaavat parhaalla mahdollisella tavalla yksittäisen talvihoitotoimenpiteen, liukkaudentorjunta tai lumenpoisto, aiheuttavaa säätilan kehitystä usean säähavainnon perusteella. Sääntunnukslukujen kuvaamiseen käytettäviä säähavaintoja ovat muunmuassa ilman, tienpinnan ja kastepisteen lämpötila, 12 tunnin sademäärä, synoptinen sääkoodi ja tuulen nopeus. Sääntunnukslukuja määritetään sekä tiesääasemilta että Ilmatieteen laitoksen säätiedoista.

Tässä tutkimuksessa talven ankaruudella tarkoitetaan sääoloiltaan talvihoidon kannalta vaikeita olosuhteita. Talven ankaruuden kuvaamiseen käytetään sääntunnukslukujen kertymiä eli sääntunnukslukujen määrittelykriteerit täyttävien sääilmiötapahutumien määriä talvikuukausien aikana. Mitä suurempi on sääntunnukslukukertymien määrä sitä ankarampi on talvi ja sitä enemmän tarvitaan talvihoitotoimenpiteitä. Sääntunnukslukukertymiä eli talven ankaruutta tarkastellaan koko talvihoidon osalta sekä eriteltynä liukkauden torjunnan ja lumenpoiston osuuksiin.

Sääntunnukslukukertymien pitkän ajanjakson (30 vuotta, 1968-1997) arvoja käytetään tilastollisten vaihteluiden ja tunnukslukujen (keskiluvut, keskihajonnat) määrittämiseen sekä valtakunnallisten jakaumien ja alueellisten arvojen tarkasteluun. Pitkän ajan arvoista voidaan määrittää esim. ankaruudeltaan erilaisten talvien toistumistodennäköisyyksiä. Käytännön talvihoidossa voidaan todennäköisyyksiä hyödyntää arvioitaessa kulloinkin tarkasteltavan yksittäisen talven ankaruutta.

Sääntunnukslukukertymien valtakunnallisia jakaumia ja alueellisia arvoja tarkastellaan myös varsinaisen havaintojakson 1992-1998 aineistosta. Valtakunnallisia jakaumia ja alueellisia arvoja voidaan käyttää talvihoitotarpeiden yleiseen kuvaukseen ja resurssitarpeiden karkeaan arviointiin. Sääntunnukslukujakaumien ja alueellisten arvojen perusteella voidaan tehdä myös johtopäätöksiä talvi-indeksimallien muodostamisessa käytettävien ilmastoaluejaon määrittämisessä.

4.2 Liukkaudentorjuntatarvetta kuvaavat säätunnusluvut

4.21 Liukkautta synnyttävät sääilmiöt

Liukkaudentorjuntaa joudutaan suorittamaan yleensä tienpinnan kitka-arvojen parantamiseksi. Tienpinnan kitka-arvoja huonontavat tekijät liittyvät paikallisiin säämuutoksiin. Liukkaudentorjuntaa aiheuttavat sääilmiöt voidaan jakaa useaan eri tyyppiin. Lindqvist (1979) on kehittänyt 24 säätyyppiä ja Norrman ja Eriksson (1998) ovat valinneet Lindqvistin kehittämistä säätyypeistä tärkeimmät 16 tyyppiä. Näistä säätyypeistä seitsemän tärkeintä aiheutuvat pääasiassa sateesta ja vesihöyryn härmistymisestä eli kuuran tai huurteen muodostumisesta. Seitsemän tärkeintä säätyyppiä Lindqvistin mukaan /Lindqvist 1979, Norrman ja Eriksson 1998/ ovat:

1. sadeveden jäätyminen kylmälle tienpinnalle
2. kuuran muodostuminen lämpötilan laskiessa
3. kuuran muodostuminen lämpötilan noustessa
4. alijäähtyneen vesisateen muodostama jääpinta
5. tiivistyneen lumen muodostama jääpinta
6. sateen aikana esiintyvä irtonainen lumi
7. liikenteen tiivistämä lumipolanne

Tässä selvitystyössä määritellyt ja käytetyt säätunnusluvut ovat pohjautuneet pitkälle ylläolevan luettelon mukaisiin sääilmiöihin. Ilmatieteen laitoksen ja tiesääasemien säätiedoista on molemmista määritetty seuraavanlaiset liukkautta ja liukkaudentorjuntatarvetta synnyttävät säätunnusluvut:

- jäätymispisteen ylitys ja alitus
- jäätymispisteen alitus
- kuuran ja huurteen muodostuminen
- mustan jään muodostuminen
- lämpöaalto

Lisäksi Ilmatieteen laitoksen säätiedoista on määritetty seuraavat sateeseen ja tienpinnan jäätymiseen liittyvät säätunnusluvut:

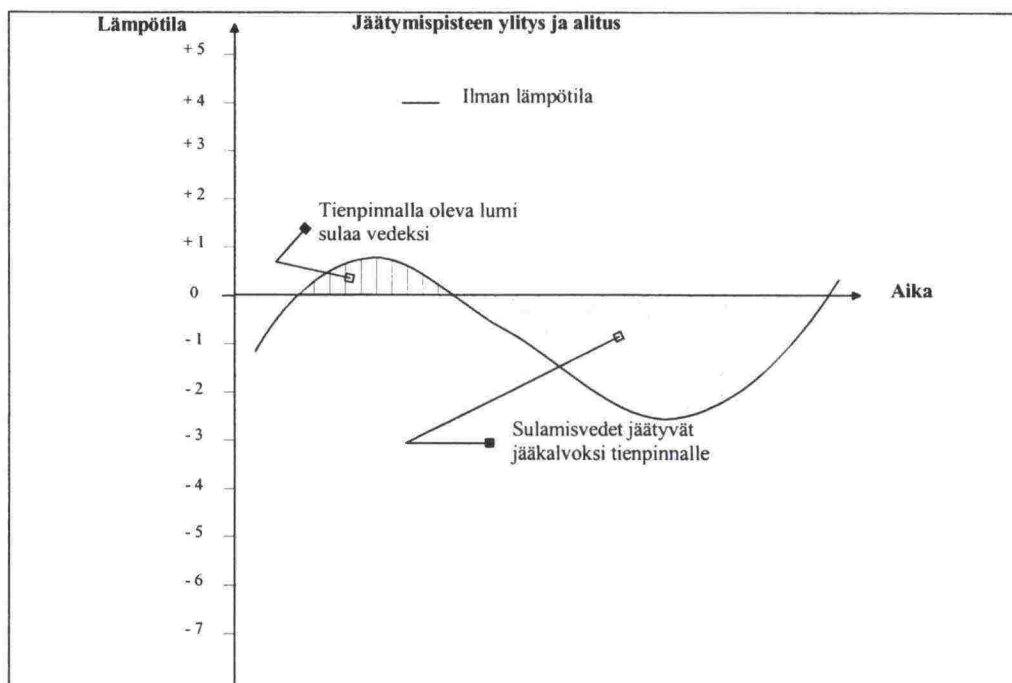
- jätävä sade

- lumisade ja tienpinnan jäätyminen
- märän tien jäätyminen

Yksittäisten säätunnuslukujen lisäksi on selvitystyössä käytetty säätunnuslukujen yhdistelmiä, joissa yksittäisiä säätunnuslukuja on yhdistetty liukkaudentorjunta- ja lumenpoistotarvetta kuvaaviksi kokonaisuuksiksi.

Jäätymispisteen ylitys ja alitus

Jäätymispisteen ylitys ja alitus -säätunnusluvulla kuvataan tilannetta, jolloin ilman lämpötila vaihtelee 0°C asteen ympäristössä (kuva 4.1). Ilman lämpötilan ollessa 0°C :n yläpuolella sulaa tienpinnalla tai ympäristössä oleva lumi. Jos ilman lämpötila tämän jälkeen laskee pakkasen puolelle, jäätyy tienpinnalla oleva kosteus ja sen seurauksena syntyy liukkautta. Jäätymispisteen ylitys ja alitus -sääilmiön aiheuttamaa liukkautta torjutaan suolauksella.



Kuva 4.1 Ilman lämpötilan käyttäytyminen tien pintaan syntyvän jääkalvon ja siitä aiheutuvan liukkauden muodostumisessa.

Jäätymispisteen alitus

Jäätymispisteen alitus -säätunnusluku kuvaa samantapaista tilannetta kuin jäätymispisteen ylitys ja alitus -säätunnusluku. Myös tässä tapauksessa talvihoitotoimenpiteenä käytetään suolausta. Jäätymispisteen alituksia tapahtuu kuitenkin useammin kuin jäätymispisteen ylitys ja alitus tapauksia, mikä saattaa tuottaa paremman kor-

relaation talvihoidon panosten ja kyseisen säätunnusluvun välillä, kun tarkastellaan tällaista säätilannetta pelkästään ilman lämpötilan perusteella.

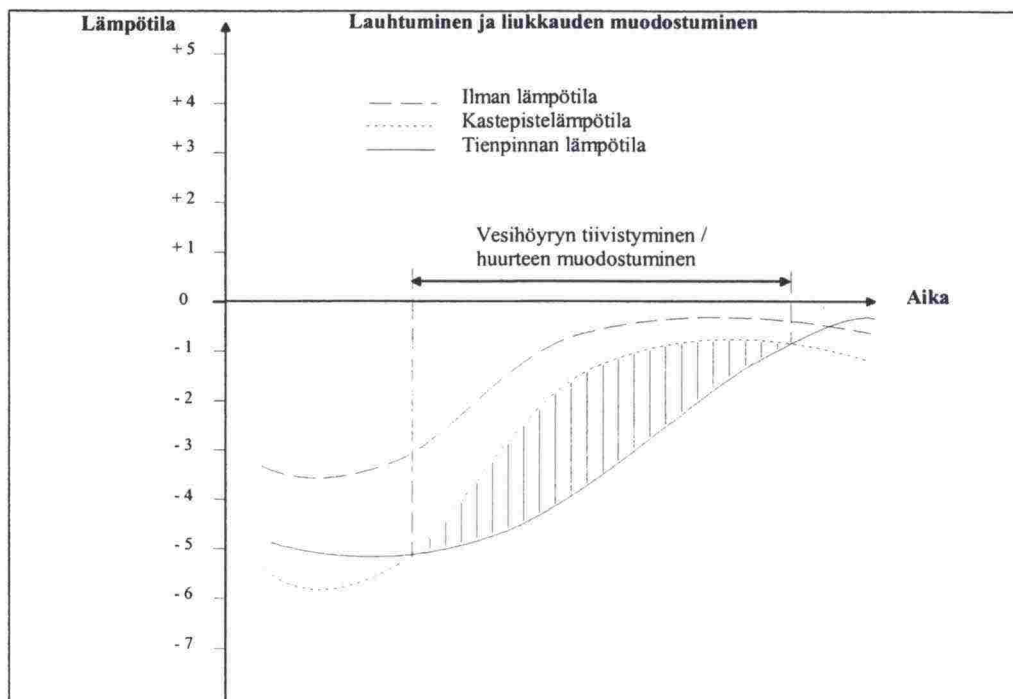
Lämpöaalto

Lämpöaallolla kuvataan sääilmiötä ja liukkauden muodostumista pitkän kylmän jakson jälkeen tapahtuvan ilman lämpenemisen yhteydessä. Kylmän jakson pituudeksi on määritelty seitsemän vuorokauden jakso, jolloin vuorokauden keskilämpötila on 0°C :n alapuolella. Jos tällaisen kylmän jakson jälkeen ilman lämpötila nousee pitempiaikaisesti 0°C :n yläpuolelle, alempiasteisen tieverkon polannepinta alkaa sulaa ja tämän seurauksena syntyy liukkaita. Tätä liukkaita joudutaan torjumaan laajamittaisella alempiasteisen tieverkon hiekoituksella.

Kuuran ja huurteen muodostuminen tienpinnalle

Liukkauden muodostuminen sään lauhtuessa

Tilanteessa, jossa lämmintä ja kosteaa ilmaa virtaa kylmälle alueelle, seuraa tienpinnan lämpötila ilman lämpötilaa viiveellä (kuva 4.2), koska energiaa kuluu myös pinnan alla olevien kylmenneiden maakerrosten lämmittämiseen. Tiehen on siis "varastoitunut kylmyyttä". Tällaisessa tilanteessa ilman lämpötila ja kastepiste kohoavat, ja jos kastepiste kohoaa tienpinnan lämpötilan yläpuolelle härmistyy ilmassa oleva vesihöyry tienpinnalle. Mitä suurempi tienpinnan lämpötilan ja kastepistelämpötilan ero on, sitä enemmän kosteutta tien pinnalle tiivistyy /Tielaitos 1992/. Myös se, miten kauan tiivistymistilanne jatkuu, vaikuttaa siihen miten paljon kosteutta tien pinnalle tiivistyy. Jos tienpinnan lämpötila on yli 0°C muodostuu kastetta ja jos lämpötila on alle 0°C tapahtuu härmistymistä ja syntyy kuuraa. Sään lauhtumisesta johtuvaa kuuran muodostusta ja siitä syntyvää liukkaita saattaa muodostua kovillakin pakkasilla lämpötilan kohotessa esimerkiksi -30°C :sta -20°C :een.



Kuva 4.2 Ilman, kastepisteen ja tienpinnan lämpötilan käyttäytyminen lauhtumisilmiön ja siitä syntyvän liukkauden muodostumisen yhteydessä.

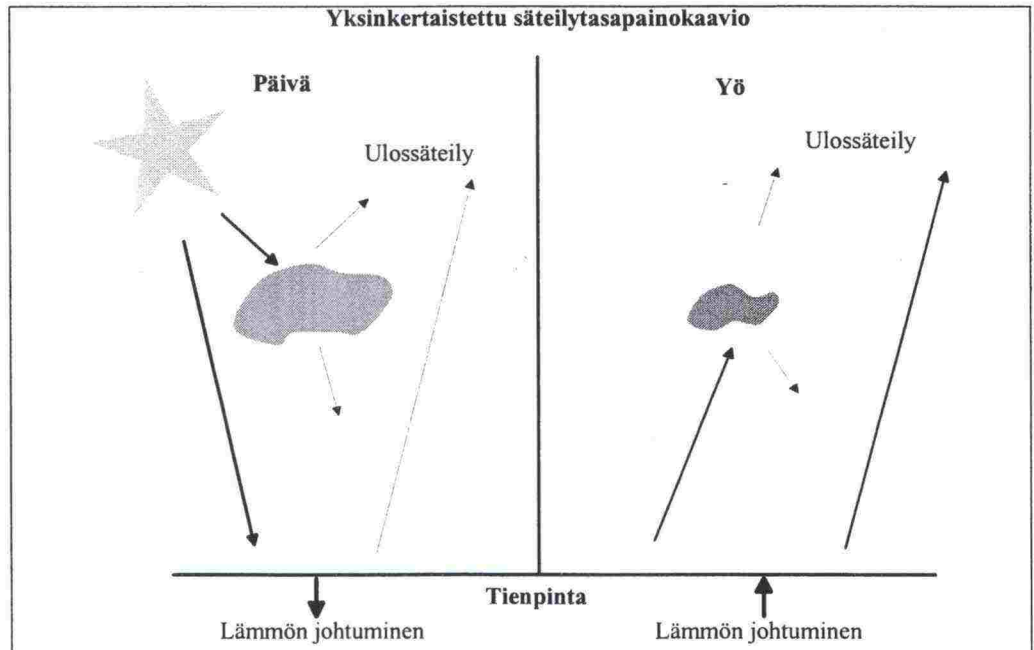
Jos lauhtumisen yhteydessä esiintyy sumua, eli jos vesihöyry on tiivistynyt jo ilmassa, niin tällöin alijäähtyneiden sumupisaroiden koskettaessa kylmää tienpintaa jäätyvät ne ja takertuvat kiinni. Tätä ilmiötä kutsutaan huurteen muodostumiseksi.

Säätunnuslukujen määrittämisen yhteydessä tiesääasemien säähavainnoista oletetaan tienpinnan lämpötilarajoiksi -5°C siten, että talvihoitotoimenpiteenä käytetään:

- suolausta, jos tienpinnan lämpötila $> -5^{\circ}\text{C}$
- hiekoitusta, jos tienpinnan lämpötila $< -5^{\circ}\text{C}$

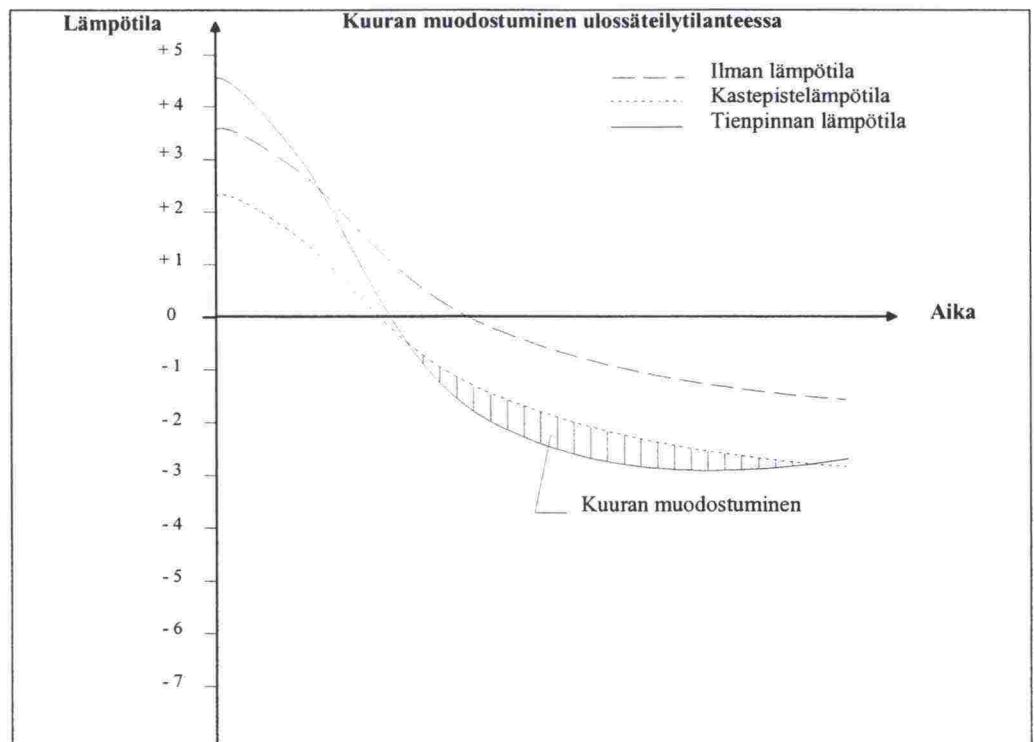
Kuuran muodostuminen säteilyjäähdytymisen seurauksena

Paitsi lauhtumisen yhteydessä, kuuraa muodostuu tienpinnalle myös selkeinä ja heikkotuulisina öinä auringon laskettua. Auringon säteily ei enää lämmitä tienpintaa, joka luovuttaa koko ajan lämpöä ns. pitkäaaltoisena eli lämpösäteilynä ilmakehään ja osittain myös suoraan avaruuteen (kuva 4.3) ja tällöin tienpinta jäähtyy. Tätä ilmiötä kutsutaan ulossäteilytilanteeksi.



Kuva 4.3 Yksinkertaistettu ilmakehän säteilytasapainokuvaio. /Tielaitos 1992/

Edellä kuvatun ilmiön yhteydessä tienpinnan lämpötila laskee nopeammin kuin läheisen ilman lämpötila. Prosessin jatkuessa tienpinnan lämpötila laskee pakkasen puolelle ja kastepistelämpötilan alapuolelle, jolloin tienpinnalle alkaa muodostua kuuraa ja siitä johtuvaa liukkautta (Kuva 4.4).

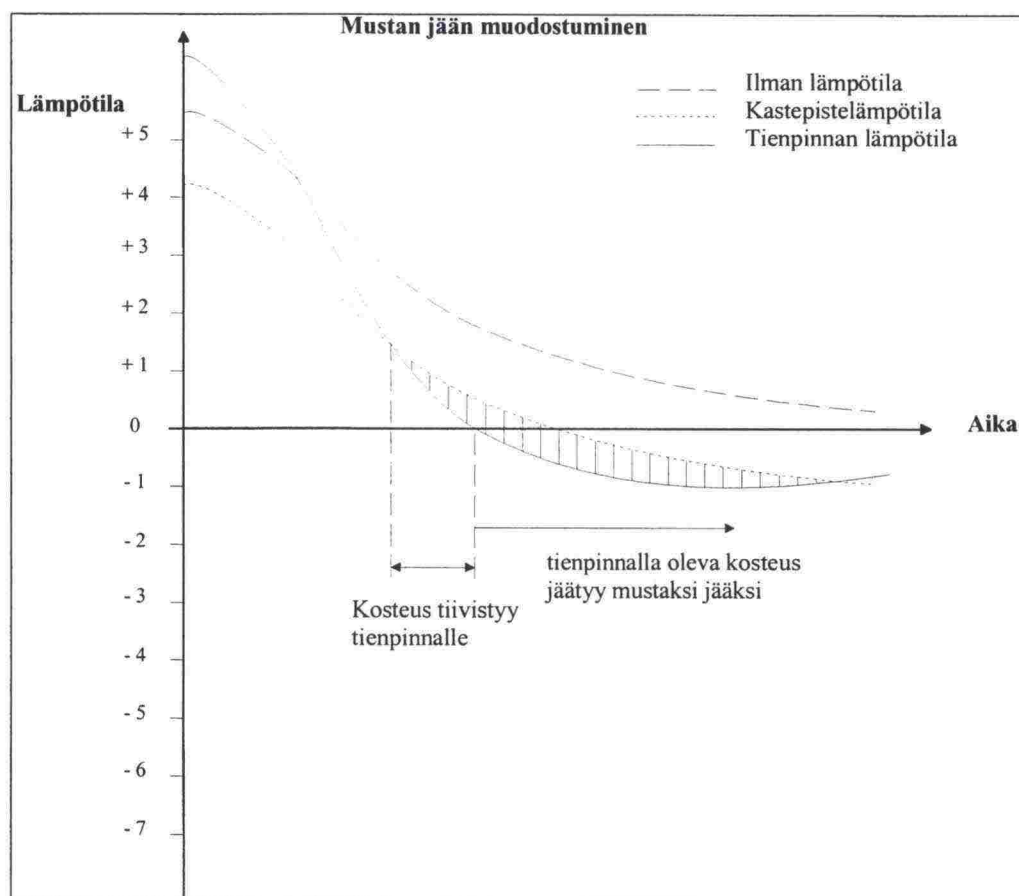


Kuva 4.4 Ilman, kastepisteen ja tienpinnan lämpötilan käyttäytyminen kuuraa muodostavan ulossäteilytilanteen ja siitä aiheutuvan liukkauden yhteydessä.

Tienpinnan lämpötilan aleneminen on nopeinta niissä paikoissa, joiden alla ei ole lämpöä varaavaa maata (esim. sillat). Ulossäteilyn seurauksena tapahtuva kuuran muodostuminen voidaan jakaa suolaus- ja hiekoitustapaukseen tienpinnan lämpötilan perusteella samalla tavoin kuin lauhtumisen yhteydessä tapahtuvan kuuran muodostumisessa.

Mustan jään muodostuminen

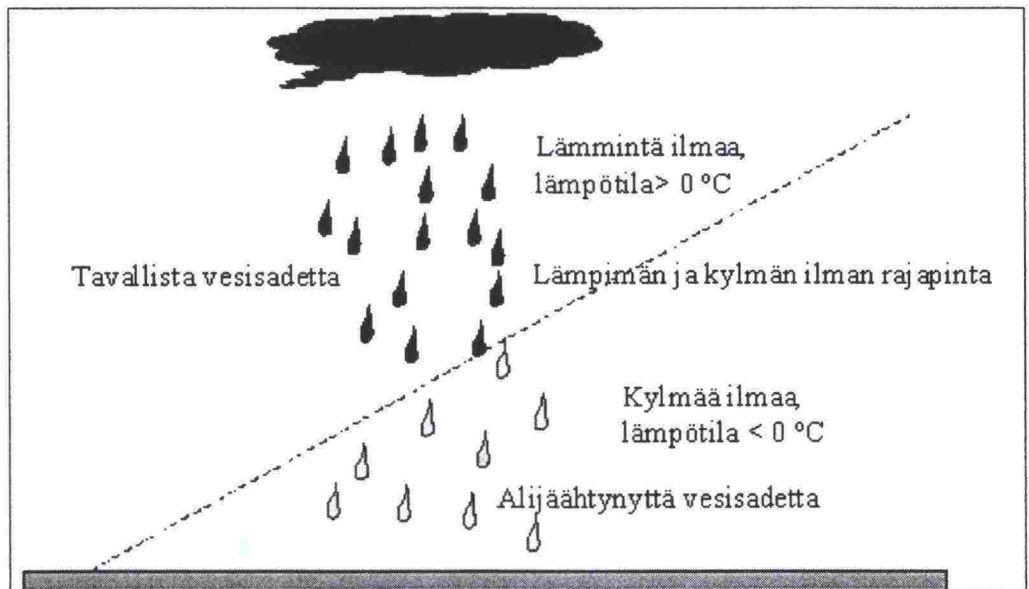
Mustaa jäätä muodostuu, kun tienpinnalla oleva kosteus jäätyy ohueksi jääkerrokseksi tienpinnalle. Jääkerros on niin ohut, että tienpinnan tumma väri kuultaa jääkerroksen läpi, mistä tilanteelle on annettu nimitys musta jää. Mustaa jäätä saattaa syntyä kahdenlaisen sääilmiön yhteydessä (kuva 4.5). Tienpinnan lämpötilan ollessa 0°C :n yläpuolella tiivistyy tienpinnalle kosteutta (syntyy kastetta), joka jäätyy tienpinnan lämpötilan laskiessa 0°C :n alapuolelle (ulossäteilytilanne). Ilman lämpötilan ollessa 0°C :n yläpuolella tienpinnalla oleva lumi sulaa vedeksi, joka jäätyy tienpinnalle lämpötilan laskiessa 0°C :n alapuolelle.



Kuva 4.5 Ilman, kastepisteen ja tienpinnan lämpötilan käyttäytyminen mustan jään ja sen synnyttämän liukkauden muodostumisessa.

Jäätävä vesisade

Jäätävä vesisade on joko alijäähtynyttä tai tavallista vesisadetta, joka muodostaa yhtenäisen, läpinäkyvän ja hyvin liukkaan jääkerroksen maan, kasvien tai rakenteiden pinnoille. Alijäähtynyt vesisade on vesisadetta, jossa sadepisarat ovat alijäähtyneitä, ts. sulia, vaikka niiden samoin kuin ilman lämpötila on alle 0°C :n alapuolella. Alijäähtynyttä sadetta syntyy tilanteessa, jossa maanpinnan lähellä kylmää ilmaa on työntynyt lämpimän yli 0°C :n olevan ilmamassan alle. Jos tällöin lämpimän ilman alueelta sataa, joutuvat sadepisarat maahan pudotessaan kulkemaan 0°C :tta kylmemmän ilman lävitse, jolloin pisaroiden lämpötila laskee jäätymispisteen alapuolelle (Kuva 4.6). Kun alijäähtyneet pisarat koskettavat maan, kasvien tai rakenteiden kylmiä pintoja, ne jäätyvät välittömästi ja muodostavat hyvin liukkaan jääpeitteen.



Kuva 4.6 Kaavakuva alijäähtyneen sateen muodostumisesta.

Toinen tilanne jäätävän sateen syntymiselle muodostuu, kun pakkanen heikkenee nopeasti ja ilman lämpötila kohoaa 0°C :n yläpuolelle, mutta tienpinta pysyy kylmänä. Jos tällöin sataa vettä, se jäätyy kylmälle pinnalle vaikka ei olisikaan alijäähtynyttä.

Lumisade ja tien jäätyminen

Tämä säämuuttuja kuvaa tilannetta, jossa ilman lämpötila on lähellä 0°C :tta ja tienpinnan lämpötila on jäätymispisteen alapuolella ja sataa lunta. Kyseessä on siis suojalumen sade. Märkä lumi jäätyy kohdatessaan tienpinnan.

Märän tien jäätyminen

Märän tien jäätyminen kuvaa tilannetta, jossa on satanut vettä ja tienpinta on kastunut. Sade lakkaa ja sää mahdollisesti selkenee. Tällöin voi tienpinta jäähtyä 0°C :n alapuolelle ennen kuin vesi ennättää haihtua tienpinnalta. Tällöin tiellä oleva vesi jäätyy ja muodostaa liukkaan kalvon tienpintaan. Tienpinnan jäätyminen voi johtua joko ulossäteilystä tai kylmän ilmamassan virtauksesta.

4.22 Ilmatieteen laitoksen sääasemilta määritetyt liukkauden säätunnusluvut

Tässä luvussa on määritelty kuinka säähavainnoista lasketaan ja/tai päätellään edellisessä luvussa kuvaillut säätekijät. Kaikkia säätekijöitä ei saada havainnoista suoraan. Joidenkin kohdalla joudutaan turvautumaan pitkiinkin päättelyketjuihin. Useiden säätunnuslukujen yhteydessä viitataan sääkoodiin. Sääkoodi on kansainvälisesti sovittu koodiluku jota kaikkien maiden säähavainnoista vastaavat laitokset käyttävät sääilmiöiden kuvaamiseen. Sääkoodiluvut on selitetty esimerkiksi sääsähkeohjeessa /Ilmatieteen laitos 1986/.

Sade tulkitaan lumeksi, jos synopin sääkoodi ei ole 20-21, 23-25, 50-67, 80-82 tai 90-92. Tätä tulkintaa sovelletaan seuraavissa säätunnusluvuissa.

Jäätävä sade (jäätösad)= Havaitaan vesisadetta ja havaintohetkellä kostea lämpötila $\leq 0^{\circ}\text{C}$ tai edellisellä havaintohetkellä $\leq 0^{\circ}\text{C}$. Lisäksi sade on jäätävää sadetta, jos havaintohetkellä sääkoodi on 24, 56, 57, 66 tai 67. Määritetään montako jäätävää sadetta esiintyy kuukautta kohti.

Suojalumen sade (suolumsad) = Havaintohetkellä sääkoodi on 72-75 eli lumisade on vähintään kohtalainen ja ilman lämpötila on $-3...2^{\circ}\text{C}$ välillä, sekä lisäksi 12 tunnin tuulikorjattu sademäärä on vähintään 1 mm.. Määritetään, montako suojalumen satamisesta aiheutunutta jäätymistapausta esiintyy kuukautta kohti.

Märän tien jäätyminen (matiejaat)= Menneen sään koodi (W1 tai W2) on 6 ja ilman lämpötila havaintohetkellä on $\leq 0^{\circ}\text{C}$. Määritetään montako märän tien jäätymistapausta esiintyy kuukautta kohti.

Jäätymispisteen ylitys ja alitus (jaatpylal)= Jäätymispiste katsotaan ylitetyn ja alitetun viimeisten 12 tunnin aikana, mikäli havaintohetkiä 0600 ja 1800UTC edeltävinä 12 tuntina minimilämpötila on korkeintaan -2°C ja maksimilämpötila on vähintään 0°C . Liukkaudentorjuntaan käytetään suolausta. Määritetään, montako jäätymispisteen ylitys- ja alitustapausta esiintyy kuukautta kohti.

Jäätymispisteen alitus (jaatpal)= Havaintohetkellä ilman lämpötila $\leq 0\text{ °C}$ ja edellisenä havaintohetkenä ilman lämpötila oli $> 0\text{ °C}$. Määritetään, montako jäätymispisteen alitustapausta esiintyy kuukautta kohti.

Lämpöaalto (laalto)= Jos 1800 UTC mitattu edellisen 12 tunnin maksimilämpötila on $> 0\text{ °C}$ ja myös edellisen päivän vastaava arvo on $> 0\text{ °C}$ ja 0600 UTC mitattu minimilämpötila on $> -2\text{ °C}$ ja edellisen päivän 0600 UTC minimilämpötila on $> -2\text{ °C}$ ja vuorokauden keskilämpötila on kahden vuorokauden edeltävinä kunakin seitsemänä vuorokautena alle nolla astetta ja lumen syvyys on vähintään 10 cm. Määritetään, montako lämpöaaltotapausta esiintyy kuukautta kohti.

Lauhtuminen ja tiivistyminen jääksi (hiekoitus) (lauhie)= Havaintohetkellä ilman lämpötila on korkeintaan -7 °C ja lämpötila on kohonnut yhdeksän edellisen tunnin aikana yli seitsemän astetta. Määritetään, montako lauhtuminen ja hiekoitus tapausta on kuukautta kohti.

Lauhtuminen ja tiivistyminen jääksi (suolaus) (lausuo)= Havaintohetkellä ilman lämpötila on -7.4 °C ja 1 °C välillä. Havaintohetkeä edeltävinä 48 tuntina ilman lämpötila on ollut korkeintaan -7.5 °C . Määritetään, montako suolattavaa jääksi tiivistymistapausta esiintyy kuukautta kohti.

Kuuran muodostus (hiekoitus) (kuurahie)= Ilman lämpötila on korkeintaan -7 °C , kastepistelämpötila on korkeintaan 2 astetta alhaisempi kuin ilman lämpötila ja havaitaan sumua, eli synopin sääkoodi on 11, 12, 28, 40-49. Määritetään, montako hiekoitettavaa kuuratapausta esiintyy kuukautta kohti.

Kuuran muodostus (suolaus) (kuurasuo)= Ilman lämpötila on välillä $0\text{...}-6.9\text{ °C}$, kastepistelämpötila on korkeintaan 2 astetta alhaisempi kuin ilman lämpötila ja havaitaan sumua, eli synopin sääkoodi on 11, 12, 28, 40-49. Määritetään, montako suolattavaa kuuratapausta esiintyy kuukautta kohti.

Kuukauden keskilämpötila (kkkalamp) = Ilman lämpötilatiedoista laskettu kuukauden keskilämpötila.

4.23 Tiesääasemilta määritetyt liukkauden sääennustukset

Havaintohetkinä käytetään kellonaikoja: 2:00, 5:00, 8:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00 ja 23:00. Tapaukset voivat toistua kuuden tunnin välein, paitsi uudet kuura määrittymiset, joiden toistumistiheydeksi sallitaan 3 tuntia.

Jäätymispisteen ylitys ja alitus (tiesääasemat) (tjaatpylal)= Jäätymispiste katsotaan ylitetyn ja alitetun viimeisten 12 tunnin aikana, mikäli havaintohetkinä 8:00 ja 20:00 minimilämpötila on korkeintaan -2°C ja havaintohetkien 8:00 ja 20:00 välisinä havaintohetkinä maksimilämpötila on vähintään 0°C . Liukkaudentorjuntaan käytetään suolausta. Määritetään, montako jäätymispisteen ylitys- ja alitustapausta esiintyy kuukautta kohti.

Jäätymispisteen alitus (tiesääasemat) (tjaatpal)= Havaintohetkellä ilman lämpötila $< 0^{\circ}\text{C}$ ja edellisenä havaintohetkenä ilman lämpötila oli $> 0^{\circ}\text{C}$. Määritetään, montako jäätymispisteen alitustapausta esiintyy kuukautta kohti.

Kuuran muodostuminen ja hiekoitus (tkliuhie) = Tienpinnan lämpötila on havaintohetkellä korkeintaan -5°C . Kastepistelämpötila on havaintohetkellä suurempi kuin tienpinnan lämpötila. Määritetään, montako hiekoitettavaa kuuratapausta esiintyy kuukautta kohti.

Kuuran ja mustan jään muodostuminen ja suolaus (tkliusuo) = Tienpinnan lämpötila havaintohetkellä on välillä $0...-5^{\circ}\text{C}$ ja kastepistelämpötila on suurempi kuin tienpinnan lämpötila. Määritetään, montako suolattavaa kuura ja mustajää tapausta esiintyy kuukautta kohti.

Lämpöaalto (tlaalto) = Havaintohetkeä edeltävinä 24 tuntina ilman lämpötila kolmen tunnin välein on korkeampi kuin 0°C ja vuorokauden keskilämpötila on kolmen vuorokauden ajanjaksoa edeltävinä kunakin seitsemänä vuorokautena alle 0°C . Jos ilman lämpötila on korkeampi kuin 0°C havaintohetkeä seuraavina kahtena vuorokautena kolmen tunnin välein tehtävinä havaintoina, niin kukin havainto lisää kokonaiskertymään yhden havainnon. Summataan yksittäiset havainnot tältä kahden vuorokauden jaksolta yhdelle havaintohetkelle ja ajoitetaan se alkamisajankohdan mukaan. Tämän jälkeen lämpöaalto voi toistua vasta seuraavan seitsemän vuorokauden keskilämpötilaehdon täyttävän jakson jälkeen.

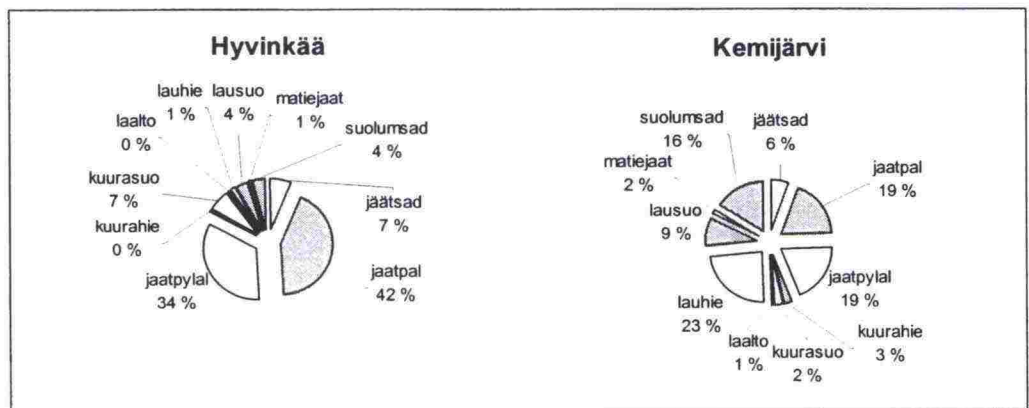
4.24 Liukkauden säätunnuslukujen yhdistelmät

Yksittäiset säätunnusluvut on määritetty perussäähavainnoista siten, että säätunnusluvun arvon kasvaessa joudutaan suorittamaan myös enemmän liukkaudentorjuntatoimenpiteitä. Jos oletetaan jokaisen liukkaudentorjuntaa kuvaavan säätunnusluvun aiheuttavan samanarvoisia toimenpiteitä, voidaan säätunnuslukujen summalla kuvata vuositasolla liukkaudentorjuntatarpeen toteutunutta määrää. Säätunnuslukujen yhdistelmä lasketaan erikseen Tiesääasemilta (B) ja Synop-sääasemilta (A) määritetyistä säätunnusluvuista.

Liukkaudentorjunta A (Synop)

SILT = jäätävä sade + suojalumisade + märän tien jäätyminen + jäätyispisteen ylitys ja alitus + jäätyispisteen alitus + lämpöaalto + lauhtuminen ja hiekoitus + lauhtuminen ja suolaus + kuurahiekoitus + kuurasuolaus

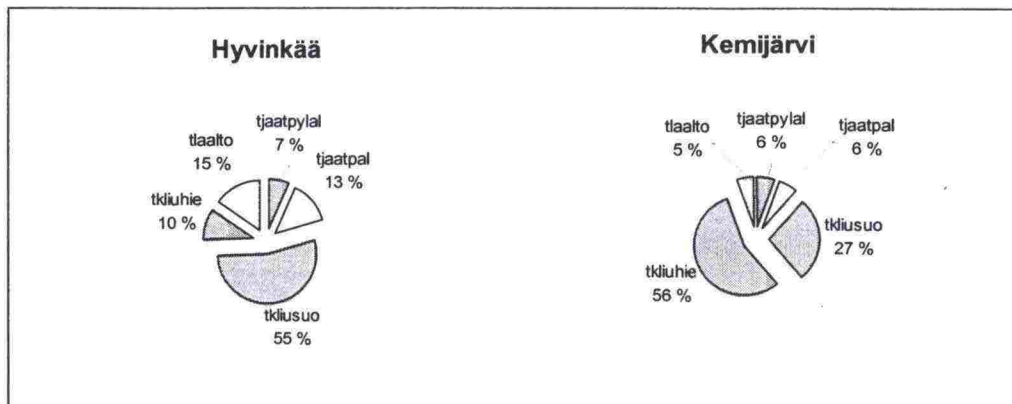
Liukkaudentorjuntaa kuvaavassa säätunnuslukuyhdistelmässä (liukkaudentorjunta A) säätunnuslukujen kertymien suhteelliset määrät vaihtelevat paljon maantieteellisesti (kuva 4.7). Ilman lämpötilan vaihtelulla jäätyispisteen ympärillä (jaatpyläl, jaatpal) on merkittävästi suurempi vaikutus säätunnuslukuyhdistelmän kertymään etelässä (76 %) kuin pohjoisessa (38 %). Sateiden (jäätsad, matiejaat, suolumsad) ja hiekoitustapausten (kuurahie, laalto, lauhie) suhteelliset kertymät ovat suuremmat pohjoisessa (51 %) kuin etelässä (13 %).



Kuva 4.7 Synop-sääasemilta tuotettavien säätunnuslukukertymien jakauma Hyvinkäällä ja Kemijärven tiemestaripeireissä vuonna 1993.

Liukkaudentorjunta B (Tie, SITIELIU) = jäätyispisteen ylitys ja alitus + jäätyispisteen alitus + lämpöaalto + kuurahiekoitus + kuurasuolaus

Tiesääasemilta laskettavan säätunnuslukuyhdistelmän suurimmat suhteelliset kertymät muodostuvat kuuran muodostumisesta sekä kylmissä (tkliuhie) että lämpimissä (tkliusuo) olosuhteissa (kuva 4.8). Kuuran muodostuminen ja suolaus - säätunnusluku (tkliusuo) on hallitsevampi etelässä kuin pohjoisessa, jossa tärkein liukkautta aiheuttava säätunnusluku on kuuran muodostuminen ja hiekoitus (tkliuhie). Muilla, kuin kuuran muodostumiseen liittyvillä, säätunnusluvuilla on suurempi merkitys etelässä kuin pohjoisessa.



Kuva 4.8 Tiesääasemilta tuotettavien säätunnuslukukertymien jakauma Hyvinkään ja Kemijärven tiemestaripeireissä vuonna 1993.

4.3 Lumenpoistotarvetta kuvaavat säätunnusluvut

4.31 Lumenpoistotarvetta synnyttävät sääilmiöt

Teiden talvihoitoon kuuluu liukkaudentorjunnan lisäksi lumenpoistoa ja polanteen tasausta. Näitä toimenpiteitä aiheuttavat pääasiassa lumisateet ja liikenne. Lumenpoisto on yleensä helpommin säätekijöillä kuvattava ilmiö kuin liukkaudentorjunta, mutta myös lumenpoistoon sisältyy säätyyppejä, joiden mallintaminen on vaikeampaa, esimerkiksi lumen ajautuminen. Tämä ilmiö aiheuttaa talvihoitotoimenpiteitä useimmiten pääasiassa tunturialueilla, joissa tiealue kulkee avoimessa ja suojattomassa maastossa. Tällöin tuuli voi kasata irtonaista lunta tielle. Pyryt ovat puolestaan tilanteita, joissa voimakkaaseen lumisateeseen yhdistyy tuulen johdosta tapahtuvaa lumen kasaantumista tielle.

4.32 Lumenpoiston säätunnusluvut

Lumenpoistotarvetta kuvaavia säätunnuslukuja on määritettävissä vain Ilmatieteen laitoksen sääasemilta. Alla on määritelty kuinka säähavaintojen ja mitattujen sademäärien avulla on laskettu ja/tai päätelty lumisateeseen liittyvät säätekijät.

Lumi- ja vesisateen määrä mitataan sademittarilla. Sademittari on astia, johon sade kertyy. Astia tyhjennetään normaalisti 12 tunnin välein mittalasiin, jonka kyljessä olevasta asteikosta voidaan lukea kertynyt sademäärä. Voimakkaalla tuulella aiheuttavat mitta-astia ja havaintopaikan rakenteet ilman virtauskenttään muutoksia, jolloin kaikki sade ei osu mitta-astiaan. Sadetta siis mitataan vähemmän kuin mitä todellinen sade on /Sarkanen, 1989/. Lumisateella virhe on suurempi kuin vesisa-

teella. Tuulen aiheuttaman mittausvirheen suuruutta voidaan arvioida tuulen nopeuden avulla. Tässä työssä tuulikorjaus lumisateeseen laskettiin yhtälön 4.1 avulla:

$$R_{\text{tod}} = (1-y) * R_{\text{mitattu}} + R_{\text{mitattu}}, \quad (4.1)$$

Missä (R_{tod}) on todellinen lumisade ja (R_{mitattu}) on mitattu sade. Kertoimen (y) arvioitiin riippuvan tuulennopeudesta (U) yhtälön (4.2) mukaisesti.

$$y = -0.06 * U + 1.0 \quad (4.2)$$

Vesi- ja lumisateen erottaminen toisistaan on selitetty luvussa 4.22

Sademäärä yli 2 mm ($Sade_2$) = 12 tunnin tuulikorjattu sademäärä > 2 mm ja edellisen 12 tunnin aikana on havaittu lumisadetta. Muuttujan ehdot voivat täytyä havaintohetkinä 06 ja 18.

Lumisademäärä ($lumsadsu$)= Kuukauden lumisademäärä [mm], joka lasketaan tuulikorjatuista sateista. Sade tulkitaan lumeksi, jos mittausjakson aikana ei ole sataanut vettä. Tulkinta tehdään aikaisemmin mainituilla sääkoodeilla.

Pyryt = Lumisateen rankkuus /3 h vähintään kohtalainen (ww on 72-75) ja tuulen nopeus on > 5 m/s ja tuulikorjattu 12 tunnin sademäärä on vähintään 2 mm. Määritetään montako pyrytapausta on kuukautta kohti.

Lumisade ($lusa$)= Lumisade tulkitaan synopin sääkoodeista seuraavasti: ww on välillä 71-75 tai 84 tai 86. Määritetään montako lumisadetapausta on kuukautta kohti.

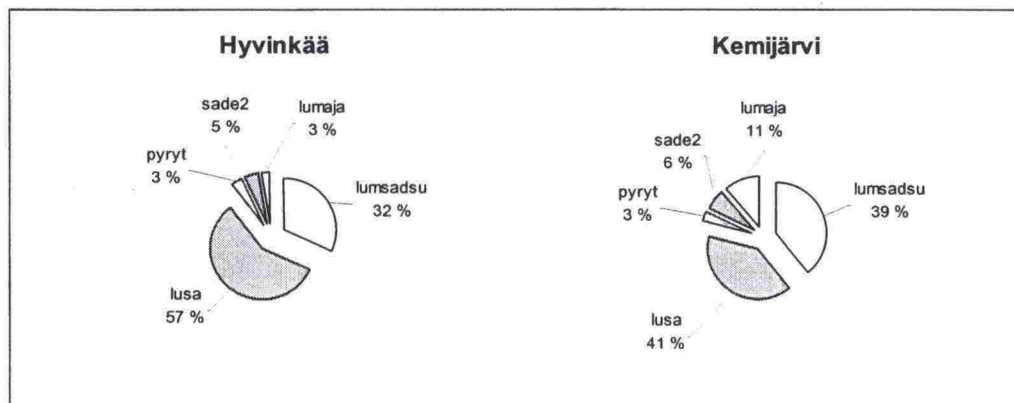
Lumen ajautumiset ($lumaja$)= Lumen ajautumistilanteet arvioidaan lämpötilan ja tuulen nopeushavaintojen perusteella seuraavasti: Ilman lämpötila $\leq -1,0$ °C viimeisten 48 tunnin aikana ja tuulen nopeus ≥ 5 m/s havaintohetkellä.

4.33 Lumenpoiston säätunnuslukujen yhdistelmä

Lumenpoistoa kuvaavat säätunnusluvut yhdistetään yhdeksi lumenpoistotarvetta kuvaavaksi säätunnuslukuyhdistelmäksi pelkästään Synop-sääasemien tietojen pohjalta määritetyistä säätunnusluvuista. Lumenpoistoa aiheuttavien säätunnuslukujen yhdistelmän kertymän kasvaessa lisääntyy myös lumenpoistotoimenpiteiden tarve. Lumenpoistotoimenpiteet ovat keskenään lähes samanarvoisia toimenpiteitä, joten lumenpoiston säätunnuslukusumma on looginen lumenpoiston mittari.

Lumenpoiston yhdistelmä (Synop, SILP) = sademäärä yli 2 mm + lumisademäärä + pyryt + lumisade + lumen ajautuminen

Lumisateet (lusa) ja lumisadesumma (lumsadsu) -sääntunslukujen suhteelliset arvot ovat suurimmat sekä etelässä että pohjoisessa (kuva 4.9). Lumen ajautumisella (lumaja) on suurempi suhteellinen arvo Lapissa kuin Uudellamaalla.



Kuva 4.9 Synop-sääasemilta tuotettavien sääntunslukukertymien jakauma Hyvinkään ja Kemijärven tiemestaripeireissä vuonna 1993.

4.4 Talvihoidon sääntunslukujen yhdistelmät

Talvisäystä aiheutuvat talvihoitotoimenpiteet jaotellaan karkeasti lumenpoistoon ja liukkaudentorjuntaan. Molemmat kokonaisuudet jaotellaan lisäksi pienempiin osakokonaisuuksiin, joita kuvaamaan on kehitetty yksittäiset sääntunsluvut. Näitä sääntunslukuja yhdistelemällä muodostetaan lumenpoistoa ja liukkaudentorjuntaa kuvaavat sääntunslukuyhdistelmät. Yhdistämällä liukkaudentorjunnan ja lumenpoiston sääntunslukuyhdistelmät yhdeksi kokonaisuudeksi saadaan koko talvihoitoa kuvaava sääntunslukuyhdistelmä.

Talvihoidon sääntunslukuyhdistelmät määritetään erikseen Ilmatieteen laitoksen sääasemilta (talvihoito A) sekä ilmatieteen laitoksen sääasemien ja tiesääasemien yhdistelmänä (talvihoito B). Tiesääasemilta saatava sääntunslukuyhdistelmä kuvaa liukkaudentorjuntaa (sitieliu), joka yhdistetään Ilmatieteen laitoksen sääasemilta saatavan lumenpoistoyhdistelmän (silp) kanssa.

Talvihoito A (Synop, SI) = SILP + SILT

Talvihoito B (SILIULP) = SILP + SITIELIU

4.5 Sääntunnuksien pitkän aikavälin keskiarvot ja vaihtelut

4.51 Sääntunnuksien vaihteluiden ja toistuvuuden arviointiperusteet

Talvihoidon olosuhteita arvioidaan sääntunnuksien summien vaihtelujen perusteella. Näitä vaihteluita tarkastellaan tiepiireittäin alueen sisällä olevien sääasemien keskiarvona. Sääntunnuksien keskiarvot ja keskihajonnat on summattu sääntunnuksien yhdistelmäksi asemittain ennen yksittäisen alueen sääntunnuksien yhdistelmien arvojen laskemista.

Tarkastelujakson (1992-1998) sääolosuhteita verrataan 30 vuoden jaksoon käyttämällä yleistä sääolosuhteita kuvaavaa muuttujaa eli kuukauden keskilämpötila. Vertailu suoritetaan valitsemalla muutama Synop-sääasema ilmastollisesti erilaisilta alueilta. Vertailuasemiksi valitaan:

- 301 Helsinki-Vantaa
- 3201 Kauhava
- 3801 Joensuu
- 5601 Pudasjärvi
- 9601 Ivalo.

Sääntunnuksien pitkän aikavälin vaihtelut määritetään 30 vuoden ajanjaksolta (1968-1997) Ilmatieteen laitoksen Synop-asemilla. Pitkältä ajanjaksolta määritetään asemittain vuosittaiset sääntunnuksien tilastolliset tunnusluvut, joista tärkeimpiä ovat minimi, maksimi, keskiarvo ja keskihajonta. Tilastollisten tunnuslukujen perusteella voidaan laskea, kuinka paljon sääntunnuksien yhdistelmien arvot poikkeavat keskiarvosta eri todennäköisyyksillä, kun oletetaan sääntunnuksien olevan normaalijakautuneita (Taulukko 4.1). Näistä arvoista tulkitaan raja-arvot, jotka määrittävät sääntunnuksien yhdistelmien arvojen keskimääräisen toistumistiheyden. Minimija maksimiarvoista tulkitaan keskimäärin kerran 30 vuodessa sattuvien arvojen raja-arvot. Sääntunnuksien yhdistelmien raja-arvot iteroidaan yhtälön 4.3 (kumulatiivisen normaalijakauman funktio) perusteella Excel-tilukkolaskentaohjelmassa NORMINV-funktiolla. /Cramér, 1971/

Taulukko 4.1. Sääntunnuksien arvojen tapahtumistodennäköisyys.

Prosentuaalinen osuus kaikista arvoista [%]	Sääntunnuksen arvo toistuu keskimäärin kerran n vuodessa
20 (helppo) tai 80 (vaikea)	5
10 (helppo) tai 90 (vaikea)	10
minimi, maksimi	30

$$f(x, m, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.3)$$

, missä

f	on	kumulatiivisen normaalijakauman funktio
m		sääntunusluvun SI_X keskiarvo
σ		sääntunusluvun SI_X keskihajonta
x		sääntunusl. SI_X raja-arvo

4.52 Sääntunuslukujen vaihtelut ja tarkastelujakson arviointi

Tarkastelujaksolla 1992-1998 talvikuukausien keskilämpötilat ovat normaaleja 30 vuoden jakson (1961-1990) keskilämpötiloja korkeampia (taulukko 4.2). Kuukauden keskilämpötilojen erot eri jaksojen välillä vaihtelevat 1-4 astetta. Suurimmat ero esiintyvät tammikuussa ja pienimmät erot huhti- ja lokakuussa. Keskilämpötilaerojen perusteella talvihoitotoimenpiteiden tarve jaksojen välillä poikkeaa merkittävästi vain tammikuussa, joten vuositason vertailussa ei jaksojen välillä ole suurta eroa.

Taulukko 4.2 Talvikuukausien keskilämpötilojen vertailu 7 ja 30 vuoden jakson välillä.

Kuukauden keskilämpötila 1961-1990	1	2	3	4	10	11	12
301 Helsinki-Vantaa	-6.9	-6.8	-2.9	2.9	5.4	0.1	-4.1
3201 Kauhava	-9.2	-8.9	-4.4	1.7	3.7	-1.9	-6.8
3801 Joensuu	-11.6	-10.7	-5.4	0.8	3.2	-2.7	-8.2
5601 Pudasjärvi	-12.7	-11.5	-6.5	-0.3	1.5	-4.7	-9.9
9601 Ivalo	-14.3	-13	-8.2	-2.2	-0.4	-7.4	-12.3
Kuukauden keskilämpötila 1992-1998	1	2	3	4	10	11	12
301 Helsinki-Vantaa	-3.2	-5.2	-1.5	3.2	4.5	-0.5	-3.2
3201 Kauhava	-5.0	-7.3	-2.5	1.7	2.5	-2.7	-4.8
3801 Joensuu	-7.4	-9.4	-4.0	0.5	2.2	-3.9	-7.0
5601 Pudasjärvi	-8.8	-10.5	-4.7	-0.8	0.0	-5.5	-7.8
9601 Ivalo	-11.3	-12.0	-6.5	-3.1	-2.0	-8.3	-10.2

Tiepiirien lumenpoiston sääntunuslukuyhdistelmän keskiarvot ovat keskimäärin kolminkertaisia vastaaviin liukkaudentorjunnan arvoihin verrattuna (taulukko 4.3).

Suurin keskiarvo (716) lumenpoiston yhdistelmälle esiintyy Lapin tiepiirissä ja suurin maksimiarvo (1119) Savo-Karjalan tiepiirissä. Pienin minimiarvo (138) esiintyy Uudenmaan tiepiirissä. Liukkaudentorjunnan yhdistelmän keskiarvo (228) ja maksimiarvo (392) on suurin Hämeen tiepiirissä. Pienin minimiarvo (78) liukkaudentorjunnan yhdistelmälle on Oulun, Keski-Suomen ja Uudenmaan tiepiireissä. Prosentteina ylärajan suurimmat eli keskimäärin kerran 30 vuodessa toistuvat arvot poikkeavat keskiarvoista 151-200 % lumenpoiston ja 172-189 % liukkaudentorjunnan osalta. Keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvat arvot poikkeavat keskiarvosta 121-140 % lumenpoiston ja 119-131 % liukkaudentorjunnan osalta.

Taulukko 4.3 Sääntunnuslukujen summien raja-arvot keskimäärin kerran n vuodessa toistuville arvoille tiepiireittäin (Silp = lumenpoisto, Silt = liukkaudentorjunta). Arvot on määritetty 30 vuoden jakson perusteella.

Tiepiiri	n vuotta	Alaraja Silp	Yläraja Silp	keskiarvo Silp	Alaraja Silt	Yläraja Silt	keskiarvo Silt
Häme	5	348	596	472	165	291	228
Häme	10	283	661		132	324	
Häme	30	224	806		106	392	
Kaakkois-Suomi	5	440	789	615	144	258	201
Kaakkois-Suomi	10	349	880		114	288	
Kaakkois-Suomi	30	266	1078		93	369	
Keski-Suomi	5	476	729	602	151	271	211
Keski-Suomi	10	410	795		119	302	
Keski-Suomi	30	335	913		78	368	
Lappi	5	568	865	716	153	280	217
Lappi	10	490	942		120	313	
Lappi	30	411	1093		98	390	
Oulu	5	471	735	603	136	258	197
Oulu	10	402	804		105	290	
Oulu	30	336	931		78	372	
Savo-Karjala	5	541	860	701	141	260	201
Savo-Karjala	10	457	944		109	292	
Savo-Karjala	30	368	1119		82	375	
Turku	5	282	537	418	157	247	208
Turku	10	216	604		123	318	
Turku	30	175	784		100	375	
Uusimaa	5	249	581	415	115	206	165
Uusimaa	10	162	668		89	241	
Uusimaa	30	138	828		78	294	
Vaasa	5	397	706	551	134	267	204
Vaasa	10	317	786		109	300	
Vaasa	30	239	962		85	382	

Tarkastelujakson sääntunnuslukuyhdistelmien arvot tiepiireille on laskettu tiepiirien tiemestariapiirien arvojen keskiarvona. Näitä arvoja vertaamalla edellisessä taulukossa laskettuihin pitkän ajanjakson perusteella määritettyihin raja-arvoihin voidaan tulkita kunkin vuoden ankaruus teiden talvihoidon kannalta yksittäisessä tiepiirissä erikseen liukkaudentorjunnan ja lumenpoiston osalta.

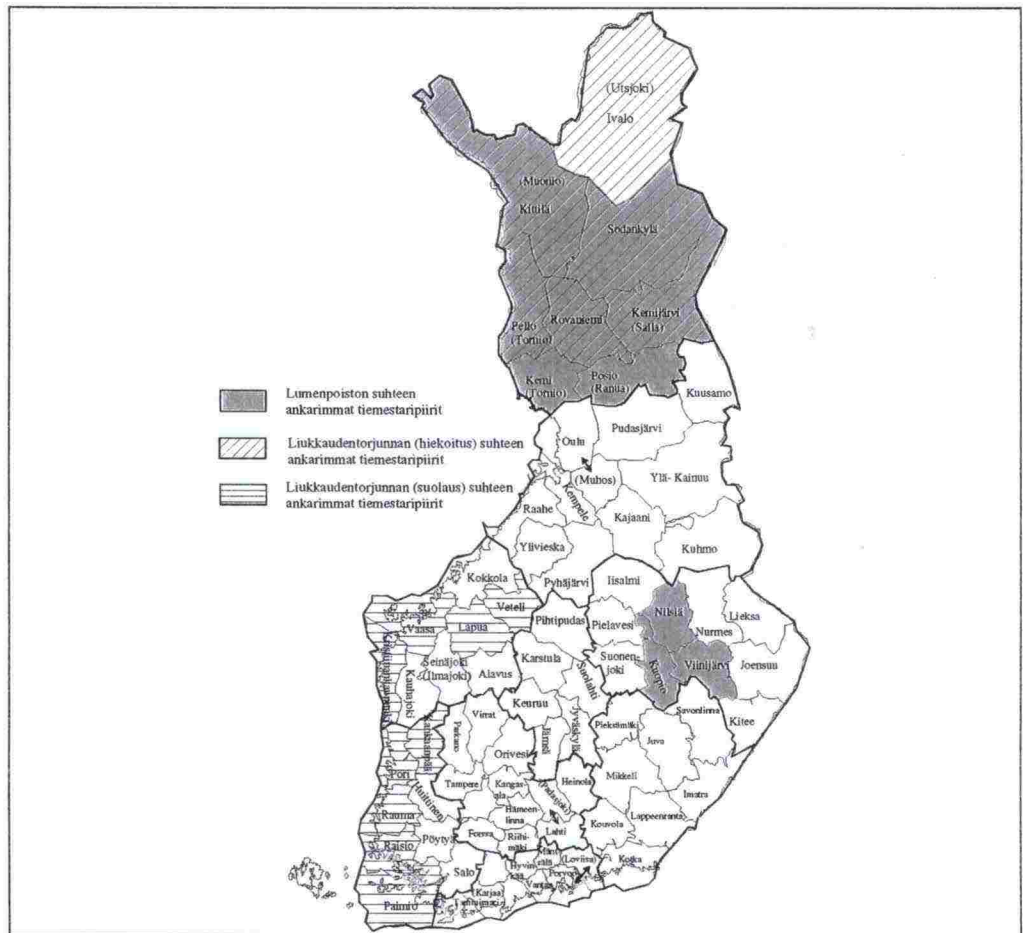
Tarkastelujakson arvot ovat lähellä raja-arvoja useissa tapauksissa, mutta vain harvoin raja-arvot ylitetään tai alitetaan (taulukko 4.4). Liukkaudentorjunnan osalta Uudenmaan tiepiirissä oli keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvat vaikeat olosuh-

teet vuosina 1995 ja 1996. Turun tiepiirissä oli vuonna 1996 keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvat vaikeat olosuhteet. Lumenpoiston osalta keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvat vaikeat olosuhteet olivat Turun tiepiirissä vuonna 1995, Kaakkois-Suomen tiepiirissä vuonna 1995 ja Savo-Karjalan tiepiirissä vuonna 1992. Keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvat helpot olosuhteet oli Savo-Karjalan ja Keski-Suomen tiepiireissä vuonna 1996.

Taulukko 4.4 Tarkastelujakson arvojen arviointi tiepiireittäin sekä liukkaudentorjunnan (Silt) että lumenpoiston (Silt) säätunnuslukuyhdistelmien osalta.

SILT	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	30 vuoden keskiarvo
Uusimaa	201	194	178	207	213	194	191	165
Turku	238	215	193	211	254	230	193	208
Häme	238	223	204	227	232	216	199	228
Kaakkois-Suomi	235	223	197	212	200	194	204	201
Savo-Karjala	207	203	189	192	193	190	199	201
Keski-Suomi	236	221	203	218	217	205	202	211
Vaasa	240	227	197	217	252	218	186	204
Oulu	209	218	191	203	214	211	202	197
Lappi	207	209	194	202	211	211	207	217
SILP	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	30 vuoden keskiarvo
Uusimaa	428	424	425	567	420	452	463	415
Turku	441	390	468	570	436	415	440	418
Häme	564	422	433	569	389	450	494	472
Kaakkois-Suomi	775	618	700	818	545	650	602	615
Savo-Karjala	863	701	733	723	527	680	635	701
Keski-Suomi	692	501	558	596	455	536	525	602
Vaasa	581	432	449	428	425	436	470	551
Oulu	711	621	544	628	524	670	637	603
Lappi	839	847	642	771	644	854	815	716
.....	Keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvat vaikeat olosuhteet							
.....	Keskimääräiset olosuhteet							
.....	Keskimäärin kerran 5 vuodessa toistuvat helpot olosuhteet							

Edellä esitettyjen tiepiiritason säätunnuslukuvaihtelujen lisäksi tarkastellaan vielä säätunnuslukujen alueellista jakaumaa yksittäisten tiemestaripiirien säätunnuslukujen vuosikertymien avulla. Alustava tarkastelu on tehty siten, että on määritetty liukkaudentorjunnan ja lumenpoiston säätunnuslukukertymien suhteen kymmenen ankarinta ja kymmenen helpointa tiemestaripiiriä (liite5). Kuvaan 4.10 on kerätty lumenpoiston ja liukkauden säätunnuslukukertymien suhteen ankarimmat tiemestaripiirit. Kymmenen lumenpoiston suhteen ankarinta tiemestaripiiriä ovat Lapin alueella ja Itä-Suomessa. Lähinnä suolausta käyttävän liukkaudentorjunnan suhteen ankarimmat tiemestaripiirit asettuvat Länsi-Rannikolle. Tähän ryhmään on laskettu tiemestaripiirit, joissa yksittäisten säätunnuslukujen kertymät ovat olleet kolmen ankarimman joukossa. Pääasiassa hiekoitusta käyttävän liukkaudentorjunnan suhteen ankarimmat tiemestaripiirit (kuusi ankarinta) asettuvat Pohjois-Lappiin. Tiemestaripiirikohtaisiin arvoihin perustuvat säätunnuslukukertymien alueelliset jakaumat ovat hyvin loogisia ja odotetun kaltaista.



Kuva 4.10 Sääntunnuksukertymien mukaan lumenpoisto ja liukkaudentorjunta olosuhteiltaan ankarimmat tiemestaripiirit

4.6 Sääntunnuksukien valtakunnalliset jakaumat

4.61 Sääntunnuksukupintojen jakaumien tuottaminen

Sääntunnuksukien valtakunnalliset jakaumat tuotetaan sekä tiesääasemien että Ilmatieteen laitoksen Synop-asemien tiedoista. Jakaumat määritetään luvussa 4.2 ja 4.3 kuvatuille yksittäisille sääntunnuksuluville ja niiden yhdistelmille. Tarkastelu tehdään sääntunnuksukertymien vuosikeskiarvojen perusteella. Tiesääasemien osalta vuosikeskiarvo perustuu vuosien 1993-1998 välisen 6 vuoden ajanjakson arvoihin. Synop-asemien osalta sääntunnuksukertymien vuosikeskiarvot määritetään vuosien 1968-1997 muodostamalta 30 vuoden ajanjaksolta.

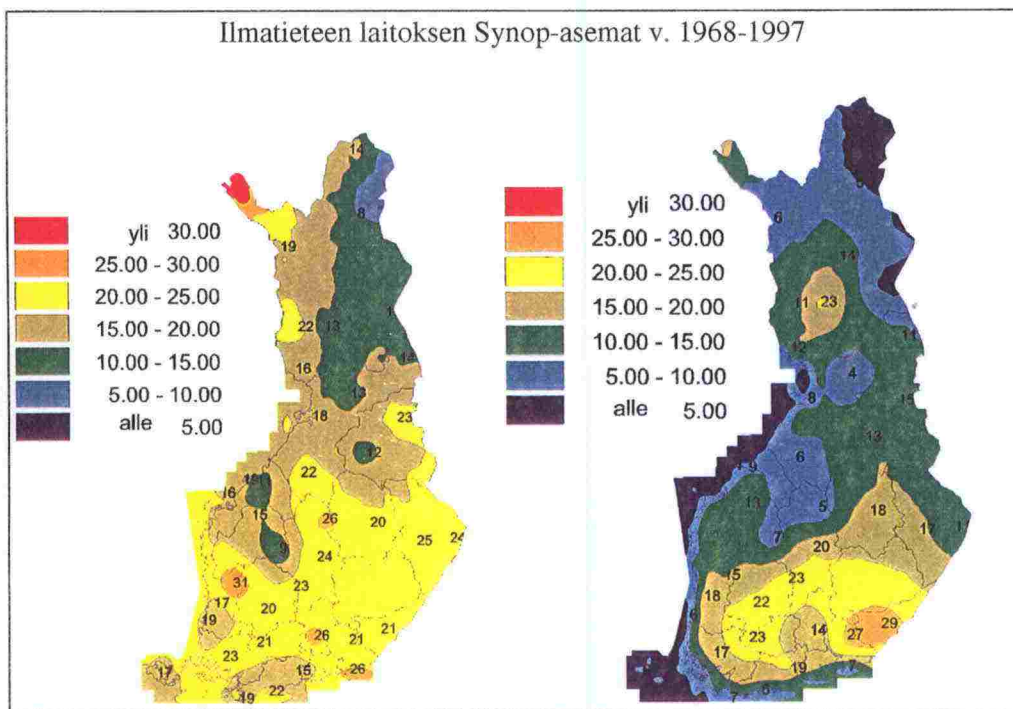
Sääntunnuksukien jakaumat (sääntunnuksukupinnat) määritetään luvuissa 3.11 ja 3.12 esitettyjen Kriging-interpolointiin perustuvien menetelmien avulla.

4.62 Sääennustelukulujen jakautumien tarkastelu

Liukkaudentorjuntatarvetta kuvaavat sääennustelut

Suojalumen sade ja jäätävä sade

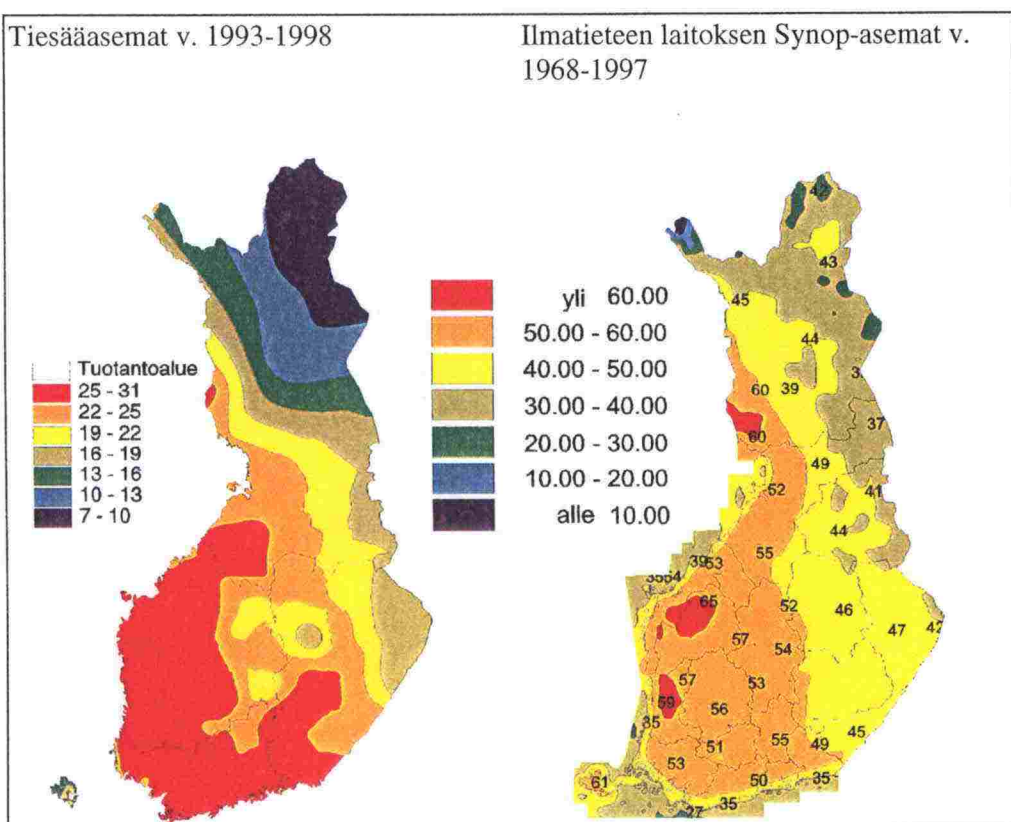
Suojalumen sateen suurimmat kertymäärät ovat maan koillis- ja keskiosissa (Kuva 4.8). Pienimmät arvot löytyvät pohjoisimmasta Lapista, jossa talvikaudella lämpötila on normaalisti alhaisempi kuin $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, joka oli valittu suojalumen esiintymisen minimilämpötilarajaksi. Jäätävien sateiden maksimi- ja minimiarvot ovat Kaakkois-Suomesta ja minimiarvot rannikolta ja pohjoisimmassa Lapissa (Kuva 4.11). Jakauma on ilmastollisesti ymmärrettävissä siten, että Kaakkois-Suomi kuuluu talvisin kylmän manto- ja lauhemman merellisen ilmassan rajavyöhykkeeseen, jossa jäätäviä sa- teita juuri esiintyy.



Kuva 4.11 Suojalumisade ja jäätävä sade -sääennustelukulukertymien vuosikeskiarvon alueellinen jakauma Suomessa.

Jäätymispisteen ylitys ja alitus

Jäätymispisteen ylitys ja alitus painottuu selvästi länsirannikolle ja Lounais-Suomeen sekä Ilmatieteen laitoksen säähavaintojen että tiesääasemien säähavaintojen pohjalta tuotetuissa säätunnuslukupinnoissa (kuva 4.12). Ilmatieteen laitoksen tuottaman kuvan kertymät ovat noin kaksi kertaa suuremmat kuin tiesääasemien tietojen pohjalta tuotetun kuvan arvoihin verrattuna. Tiesääasemakuvan kertymän absoluuttiset arvot vaihtelevat välillä 7-31 ja prosenttiarvot välillä 40-177 %. Synop-ase- milta tuotetun kuvan kertymän absoluuttiset arvot vaihtelevat välillä 10-65 ja prosenttiarvot 29-186 %.

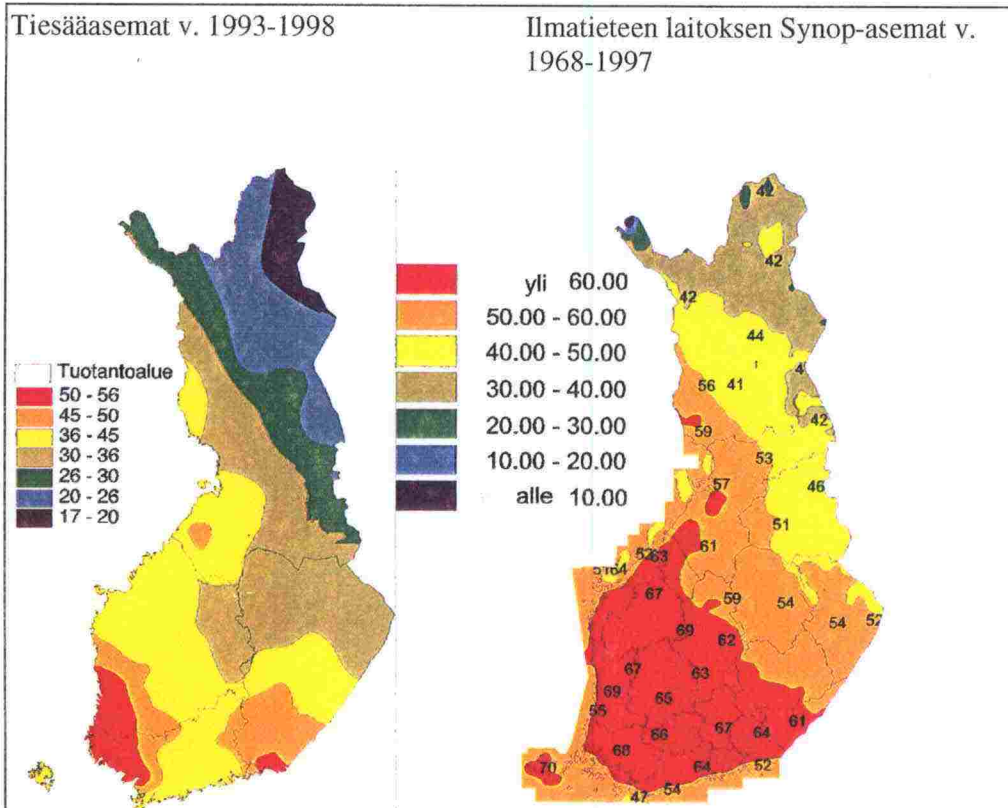


Kuva 4.12 Jäätymispisteen ylitysten ja alitusten mukaisten säätunnuslukukertymien vuosikeskiarvon alueelliset jakaumat Suomessa.

Jäätymispisteen alitus

Jäätymispisteen alitustapausten suurimmat kertymät painottuvat Lounais-Suomeen ja Pohjanlahden rannikolle (kuva 4.13). Tornionjoen varteen Pellon korkeudelle ylettyy hiukan yli keskimääräisen kertymän vyöhyke. Kaakkois-Suomen alueen kertymät ovat myös keskimääräistä korkeammat. Jäätymispisteen alitus - säätunnusluvun jakaumarajat kulkevat pohjoisessa luoteesta kaakkoon. Tämä selittyy ainakin osittain Perämeren ja Tornionjoen vaikutuksella.

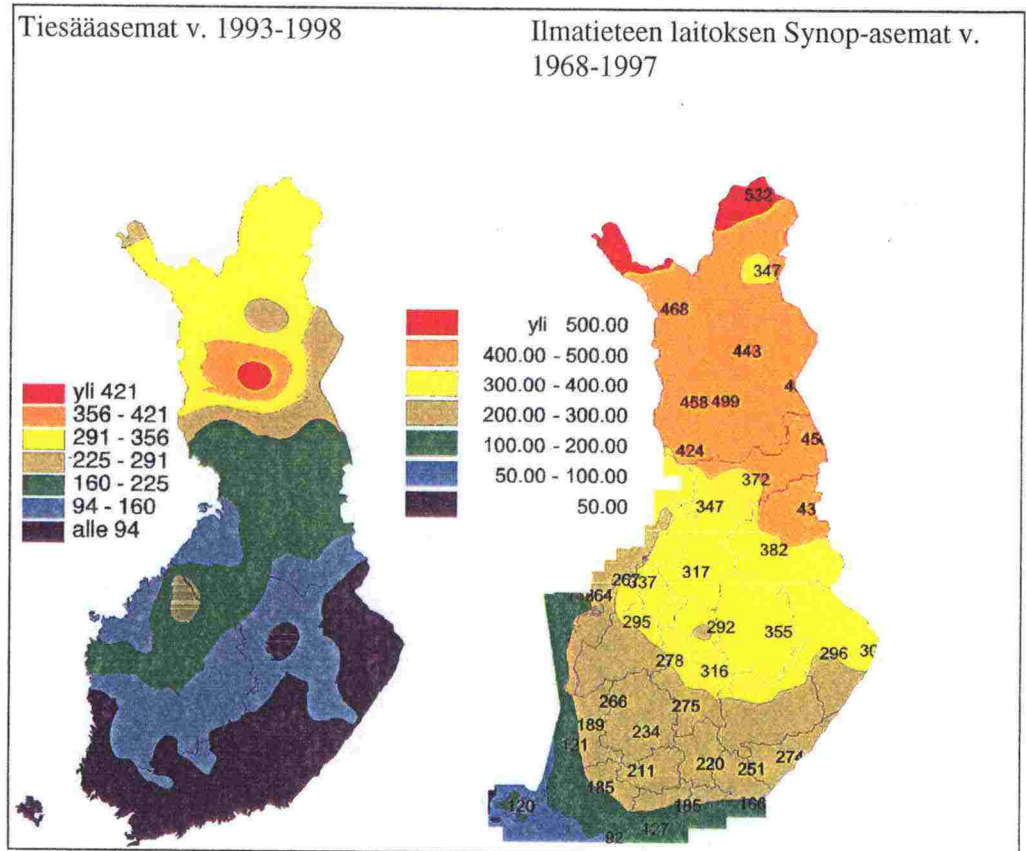
Ilmastollisesti jäätymispisteen alitus sekä ylitys ja alitus tunnuslukujen maksimiarvojen löytyminen Lounais- Suomesta ja Pohjanlahden rannikolta on odotettu tulos, sillä lämpötila on noilla alueilla korkeampi kuin Lapissa, joten myös lähellä nollaa olevia lämpötiloja esiintyy näillä alueilla useammin kuin kylmemmän ilmaston Pohjois- Suomessa.



Kuva 4.13 Jäätymispisteen alitusten mukaisen säätunnuslukukertymän vuosikeskiarvon alueellinen jakauma Suomessa.

Kuuran muodostuminen alhaisissa lämpötiloissa

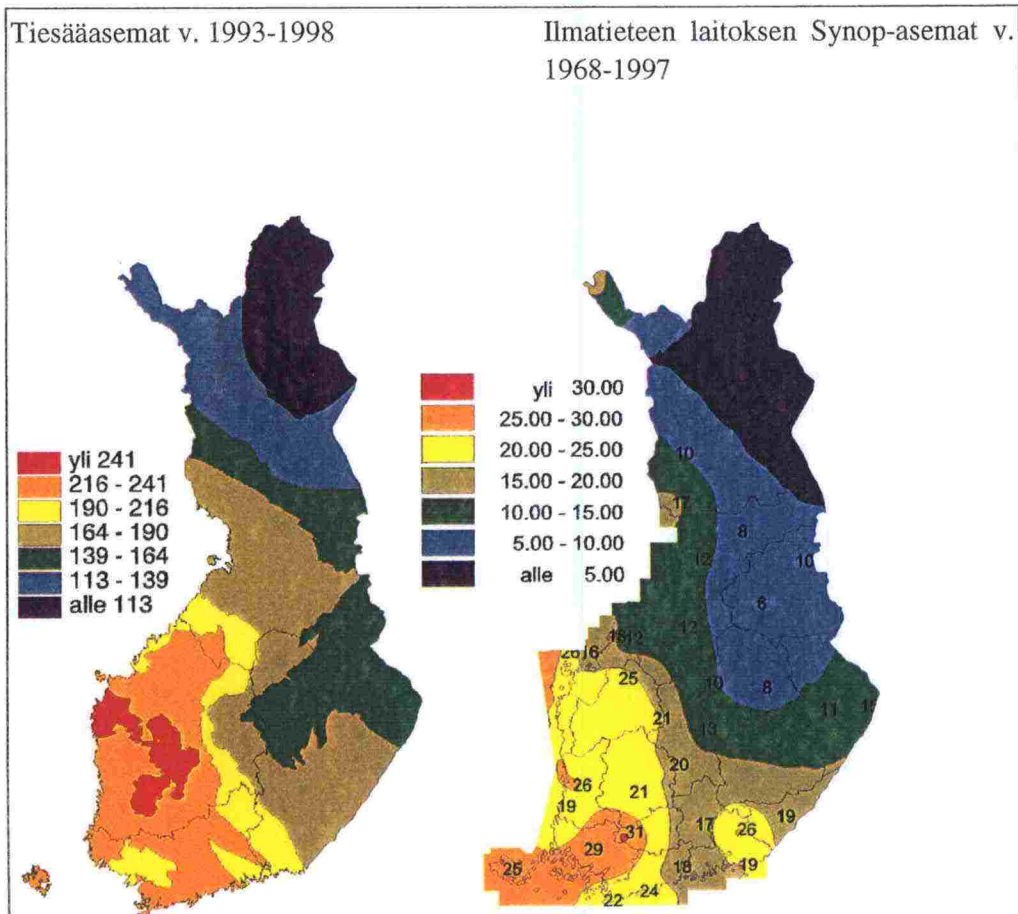
Alhaisella lämpötilalla tarkoitetaan tässä lämpötilarajaa -5°C , jonka alapuolella liukkaudentorjuntatoimenpiteenä tulee kysymykseen hiekoitus. Tämä merkitsee luonnostaan sitä, että tällaisten sääilmiöiden suurimmat arvot asettuvat maan pohjoisiin osiin ja pienimmät Lounais- ja Etelä-Suomeen sekä länsirannikolle (kuva 4.14). Kertymien suuret erot ovat peräisin erilaisista säätunnuslukujen määrittämisistä.



Kuva 4.14 Kuuran muodostumista alhaisissa lämpötiloissa kuvaavan sääntunnuksen vuosikeskiarvon alueellinen jakauma Suomessa.

Kuuran ja mustan jään muodostuminen

Kuuran ja mustan jään muodostuminen kuvaa lähes samaa tilannetta kuin edellinen sääntunnuksiluku, mutta lämpimämmässä 0-5 °C:n lämpötiloissa. Näiden sääilmiöiden oletetaan aiheuttavan torjuntatoimenpiteenä suolausta, kun taas edellinen tapaus aiheutti hiekoitusta. Kuuran ja mustan jään tapausten kertymä painottuu Lounais-Suomeen ja länsirannikolle (kuva 4.15). Pienimmät kertymäarvot ovat vastaavasti pohjoisimman Lapin alueella. Suolaustoimenpiteitä edellyttävien kuuran ja mustan jään tapausten jakauma on lähes vastakohta edellisen kohdan hiekoitusta edellyttävien alhaisten lämpötilojen kuuratapausten jakaumalle. Tällainen tulos onkin hyvin looginen ja odotusten mukainen.



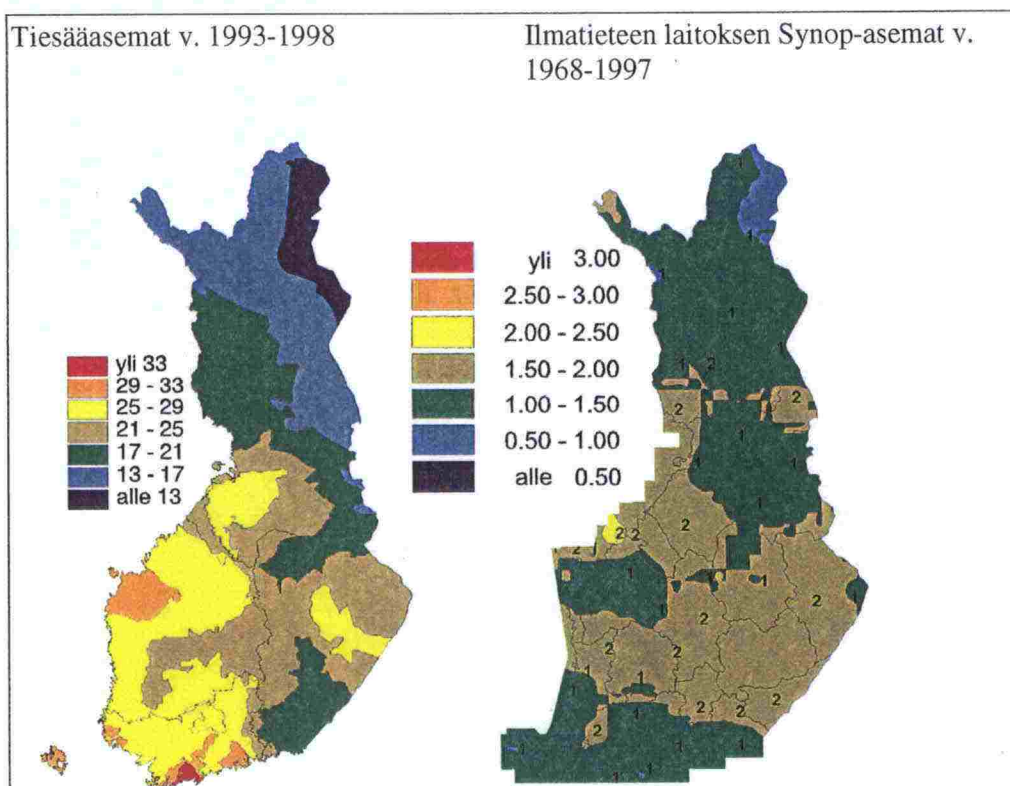
Kuva 4.15 Kuuran ja mustan jään muodostumista kuvaavan sääntunnuslukukertymän vuosikeskiarvon alueellinen jakautuminen Suomessa.

Lämpöaalto

Tiesääasemilta määritettävän lämpöaaltosääntunnusluvun kertymät ovat moninkertaiset Ilmatieteen laitoksen lämpöaaltomuuttujaan verrattuna, mikä on seurausta erilaisista muuttujan määrittämisistä. Kertymien suurimmat arvot esiintyvät Länsi- ja Etelä-Rannikolla sekä Lounais-Suomen alueella tiesääasemien tietojen pohjalta määritetyssä kuvassa (kuva 4.16). Lapissa kertymät ovat pienimmät sekä Ilmatieteen laitoksen sääasemien että tiesääasemien tietojen pohjalta määritetyissä kuvissa.

Lämpöaallon suurimmat arvot ovat yli 33 ja alle 13 tiesääasemilta määritettäessä ja Synop-asemilta määritettäessä vaihtelevat 0...3 välillä.

Loput liukkaudentorjuntaa kuvaavat sääntunnusluvut esitetään liitteessä 6.

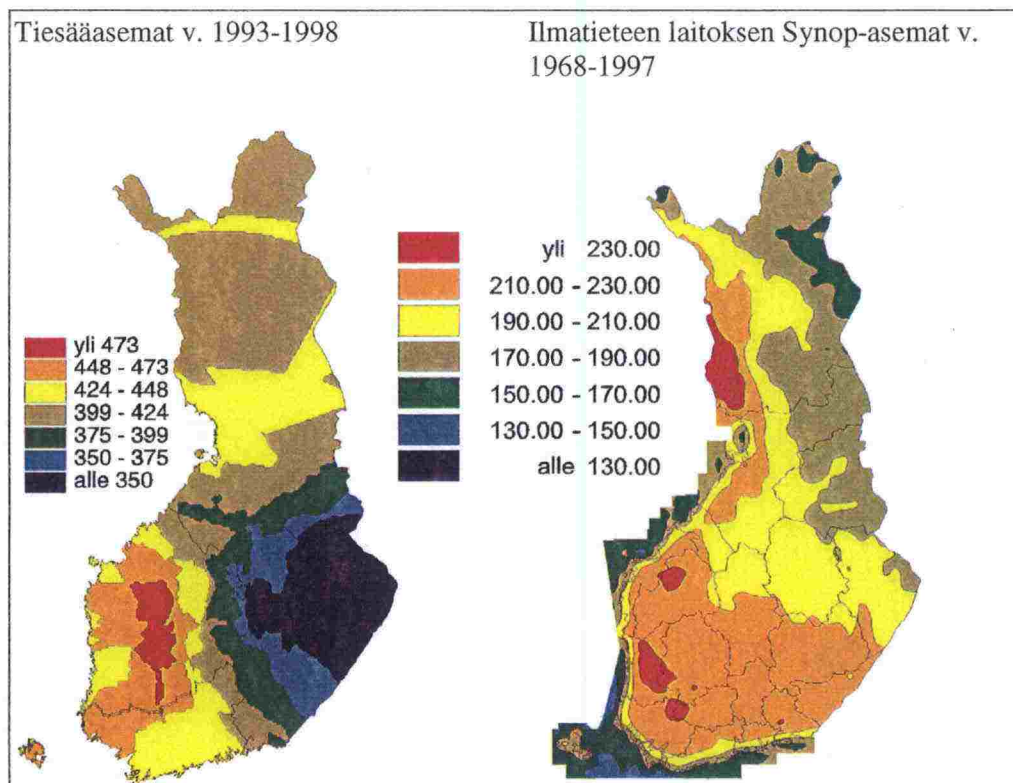


Kuva 4.16 Lämpöaallon muodostumista kuvaavan säätunnuslukukertymän vuosikeskiarvon alueellinen jakautuminen Suomessa.

Liukkaudentorjuntatarvetta kuvaavien säätunnuslukujen yhdistelmät

Säätunnuslukuyhdistelmän kertymien suurimmat arvot esiintyvät Lounais-, Länsi- ja Etelä-Suomessa (kuva 4.17). Tiesääasemien säätunnuslukuyhdistelmän arvot pienenevät Kaakkois-Suomesta pohjoiseen päin ja erityisesti Savo-Karjalan tiepiiriin itäosiin. Lapin suuret kertymät, jotka esiintyvät tiesääasemien tietojen pohjalta muodostetussa kuvassa, voidaan selittää kuura ja hiekoitustapausten suurilla Lappiin painottuvilla kertymillä. Ilmatieteen laitoksen sääasemien tietojen pohjalta muodostetussa kuvassa Länsi-Rannikolla ja Tornionjokilaaksossa esiintyy suurimpia kertymiä, mikä on odotettu tulos liukkaudentorjunnan osalta.

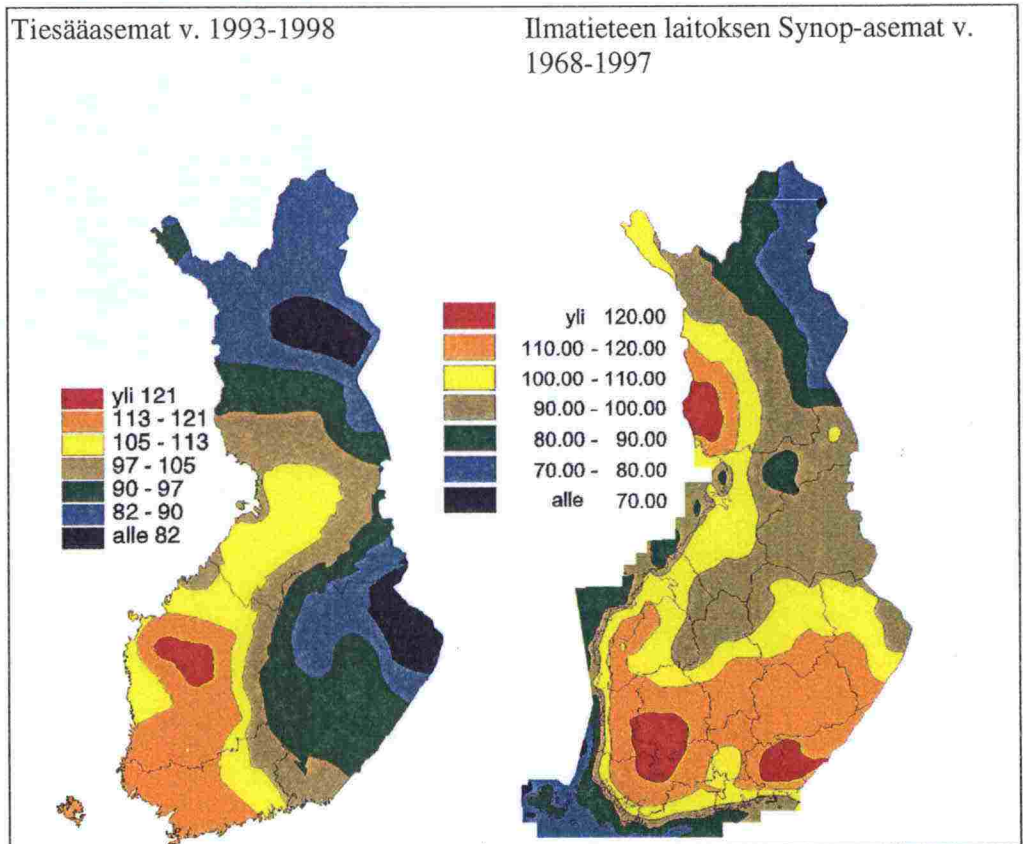
Säätunnuslukuyhdistelmien kertymien suurimmat arvot ovat yli 473 ja yli 230 ja vastaavasti pienimmät arvot alle 350 ja alle 130.



Kuva 4.17 Liukkauden säätunnuslukuyhdistelmien kertymien vuosikeskiarvon alueellinen jakautuminen Suomessa.

Liukkaudentorjunnan prosentuaalisten arvojen yhdistelmän keskimääräistä suuremmat arvot löytyvät Etelä- ja Länsi-Suomesta ulottuen Länsi-Rannikkoa pitkin aina Tornionjokilaaksoon (kuva 4.18). Keskimääräistä pienemmät prosentuaaliset arvot esiintyvät Lapissa ja Itä-Suomessa molemmissa säätunnuslukuyhdistelmäpinnoissa. Säätunnuslukuyhdistelmäpinnat eroavat toisistaan Kaakkois-Suomen ja Tornionjokilaakson osalta. Tiesääasemien mukaiset arvot ovat keskimääräisiä tai keskimääräistä pienempiä, kun taas Ilmatieteen laitoksen arvot ovat selvästi keskimääräistä suurempia. Tämä ero saattaa selittyä säätunnuslukujen erilaisilla tulkinnoilla ja säätunnuslukujen määräerolla.

Molempien säätunnuslukuyhdistelmäpintojen suurimmat arvot ovat suuremmat kuin 120 % ja pienimmät arvot ovat pienemmät kuin 80 % (Synop-asemien yhdistelmäpinnassa alle 70 %).

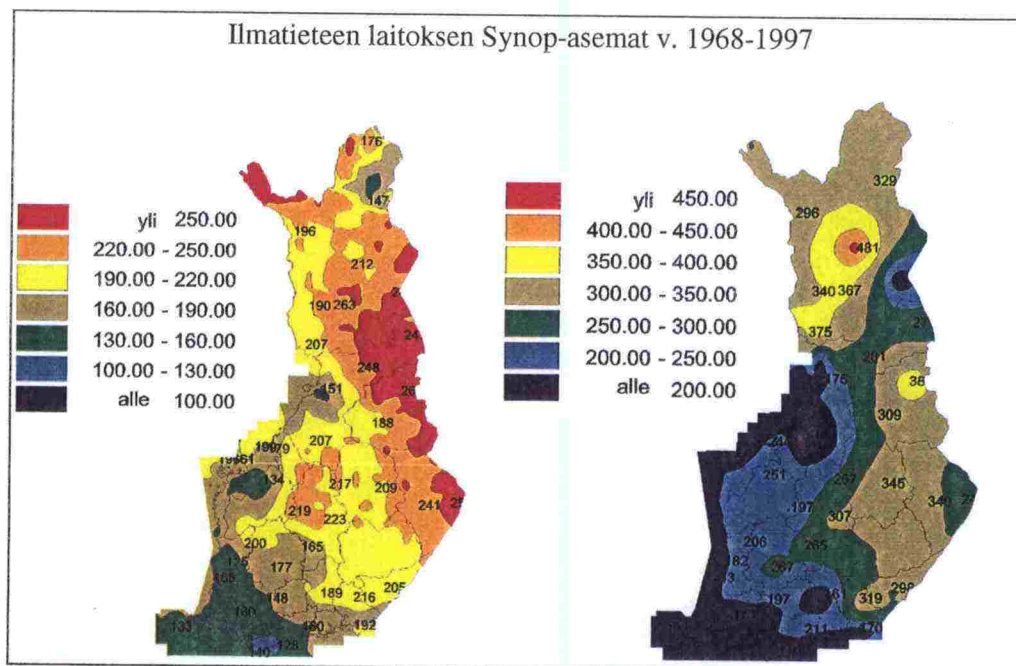


Kuva 4.18 Liukkauden säätunnuslukuyhdistelmien prosentuaalisten arvojen alueellinen jakautuminen Suomessa.

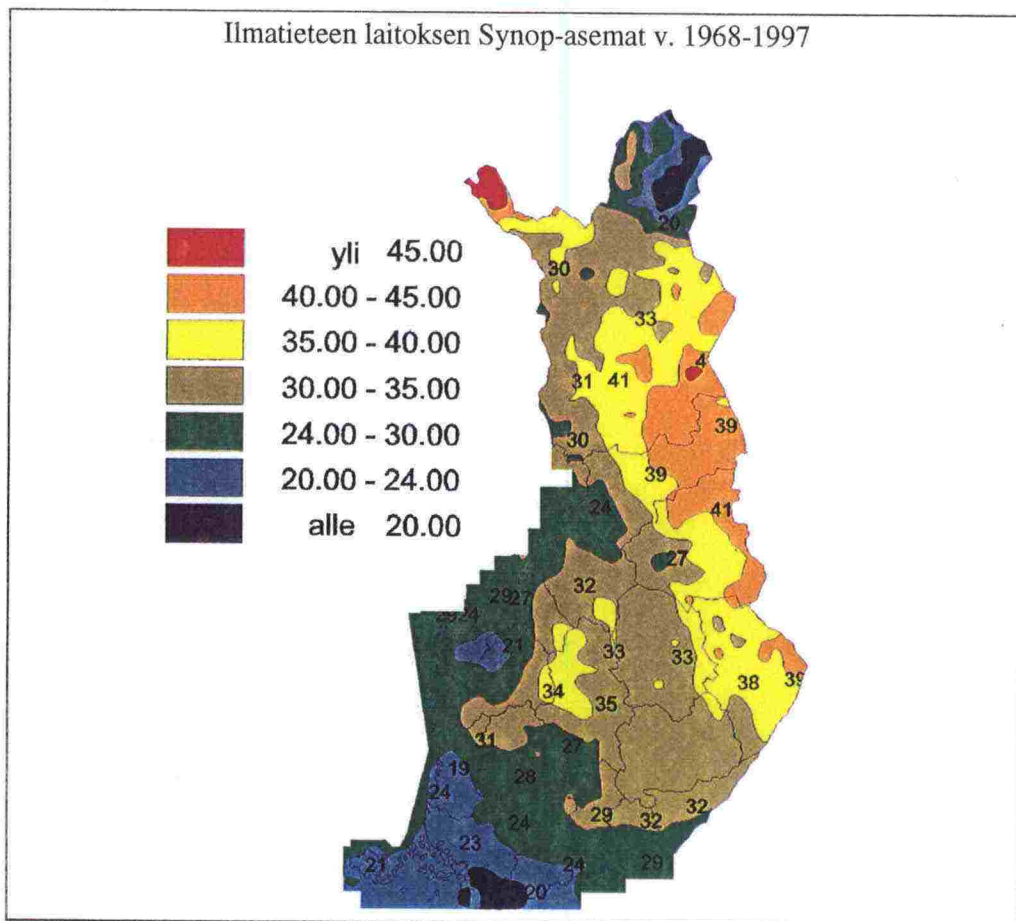
Lumenpoistotarvetta kuvaavat säätunnusluvut

Talvikauden lumisadesumma, havaitut lumisateet ja yli 2 mm ylittävien sateiden lukumäärä

Talvikauden lumisadesumman, havaittujen lumisadetapausten ja yli 2 mm ylittävien sateiden lukumäärät painottuvat pääasiassa Itä-Suomeen ja Lappiin (kuva 4.19 ja kuva 4.20). Säätunnuslukupintojen rajojen havaitaan kulkevan keskimäärin luodekaakkosuunnassa Lapin alueella. Pienimmät kertymät esiintyvät Lounais-Suomessa sekä Länsi- ja Etelä-Rannikolla. Lumisadesumman kertymien absoluuttiset arvot vaihtelevat 100...250 mm välillä ja poikkeamat keskiarvosta välillä 57-143%. Havaittujen lumisadetapausten lukumäärän absoluuttiset arvot vaihtelevat välillä 200-450 ja poikkeamat keskiarvosta välillä 62-138 %. Yli 2 mm ylittävien sateiden lukumäärän absoluuttiset arvot vaihtelevat välillä 20... yli 45 ja poikkeamat keskiarvosta välillä 62-138 %.



Kuva 4.19 Talvikauden lumisadesumman ja havaittujen lumisadetapausten lukumäärän vuosikeskiarvojen alueelliset jakaumat Suomessa.

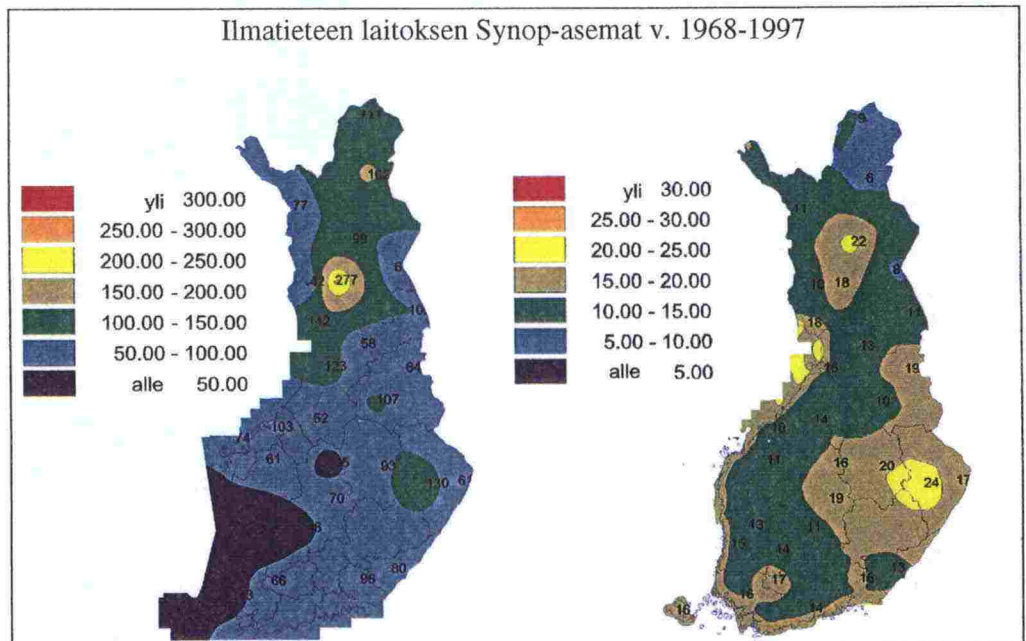


Kuva 4.20 Yli 2 mm ylittävien sateiden kertymän vuosikeskiarvon alueellinen jakautuminen Suomessa.

Lumen ajautuminen ja pyrytapauksen lukumäärä

Lumen ajautuminen kuvaa tilannetta, jossa lumipartikkelit liikkuvat lumipeitteen pinnalla tai pinnan välittömässä läheisyydessä pinnan suuntaisesti ja muodostavat tienpinnalle lumikinoksia. Lumen ajautumisen suurimmat arvot esiintyvät pääasiassa Lapissa (kuva 4.21). Pienimmät arvot löytyvät Länsi- ja Lounais-Suomesta. Lumen ajautumisen absoluuttiset arvot vaihtelevat 50...300 välillä ja poikkeamat keskiarvosta välillä 29-171 %.

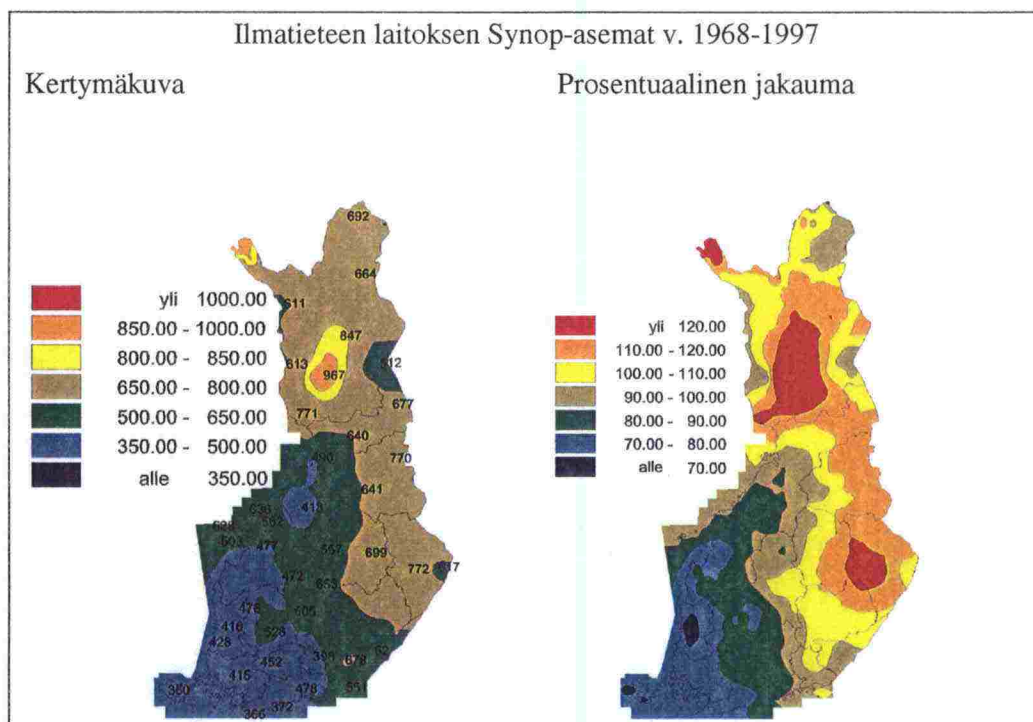
Pyrytapauksen suurimmat arvot esiintyvät Keski-Lapissa, Itä-Suomessa ja kapealla rannikkovyöhykkeellä (kuva 4.20). Pyrytapauksen kertymien absoluuttiset arvot vaihtelevat välillä 5-30 ja poikkeamat keskiarvosta välillä 29-171 %.



Kuva 4.21 Lumen ajautumisen ja pyrytapauksen kertymien vuosikeskiarvon alueellisen jakautuminen Suomessa

Lumenpoistotarvetta kuvaavien säätunnuslukujen yhdistelmät

Lumen poiston säätunnuslukuyhdistelmän suurimmat absoluuttiset ja prosentuaaliset arvot esiintyvät Itä-Suomessa ja Lapissa (kuva 4.22). Säätunnuslukuyhdistelmän poikkeamat keskiarvosta vaihtelevat välillä 70...120 %, mikä on sama kuin liukkaudentorjunnan säätunnuslukuyhdistelmän vaihteluväli. Lumenpoistoa kuvaavan säätunnuslukuyhdistelmän alueellinen vaihtelu on lähes päinvastainen verrattuna liukkaudentorjuntaa kuvaavan säätunnuslukuyhdistelmän alueelliseen jakaumaan.

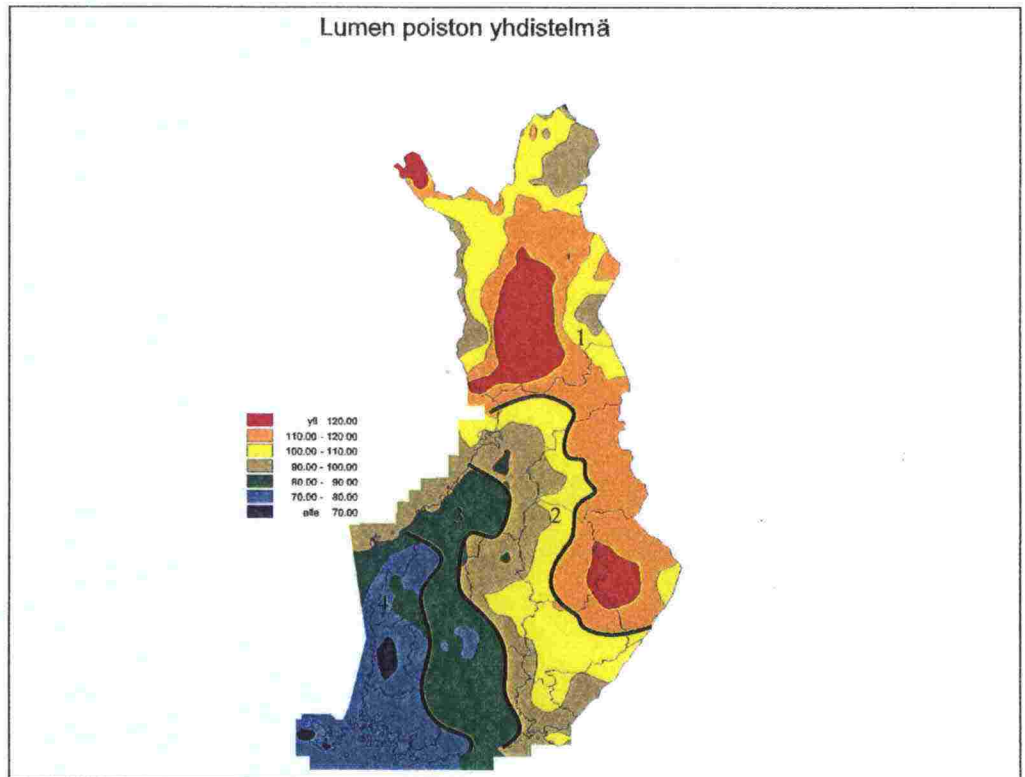


Kuva 4.22 Lumenpoistotarvetta kuvaavan säätunnuslukuyhdistelmän alueellinen jakautuminen Suomessa.

4.7 Säätunnuslukupintojen käyttö ilmastoalueiden suunnitteluun

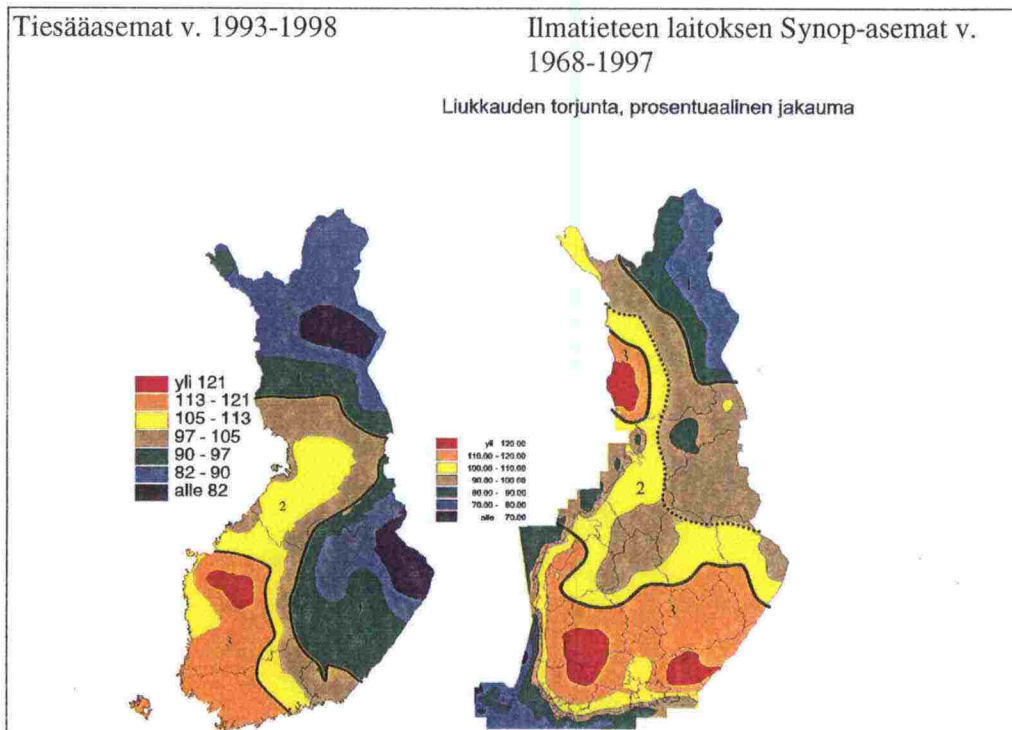
Talvihoitoindeksimallien kehittämisessä käytettävien ilmastoalueiden suunnittelun lähtökohtana on jakaa Suomi ilmastollisesti mahdollisimman homogeenisiin alueisiin. Alueiden ilmastollista homogeenisuutta arvioidaan tiestön talvihoitoa synnyttävien säätekijöiden näkökulmasta. Ilmastoaluejaon suunnittelussa voidaan tällöin hyödyntää edellä esitettyjä lumenpoistoa ja liukkaudentorjuntaa kuvaavien säätunnuslukuyhdistelmien jakaumia. Suunnittelussa käytetään erityisesti säätunnuslukukertymien prosentuaalisia jakaumia. Näissä tulevat määrällisiä jakaumia paremmin esille yksittäisten säätunnuslukujen vaihtelut ja vaikutukset. Edetään suunnittelussa kaksivaiheisesti siten, että muodostetaan ensin säätunnuslukujakaumien perusteella karkea aluejako. Tarkennetaan jakoa tarpeen mukaan toisessa vaiheessa. Säätunnuslukujakaumien perusteella määritetyt alueet sovitetaan sitten tiemestaripiirijakoon, jonka mukaan mallien muodostamisessa käytettävät lähtötiedot on käytettävissä.

Ilmatieteen laitoksen säätiöjen lumenpoistoa kuvaavan säätunnuslukujakauman perusteella voidaan maa jakaa luode-kaakkosuunnassa karkeasti neljään ilmastoalueeseen kuvan 4.23 mukaisesti. Alueella 1 ovat lumenpoiston säätunnuslukuarvot pääsääntöisesti yli 10 % ja osin yli 20 % keskiarvoa suurempia. Alueen 2 arvot poikkeavat alle 10 % keskiarvon molemmiin puolin. Alueella 3 ovat arvot 10-20 % alle keskiarvon ja alueella 4 yli 20 % alle keskiarvon.



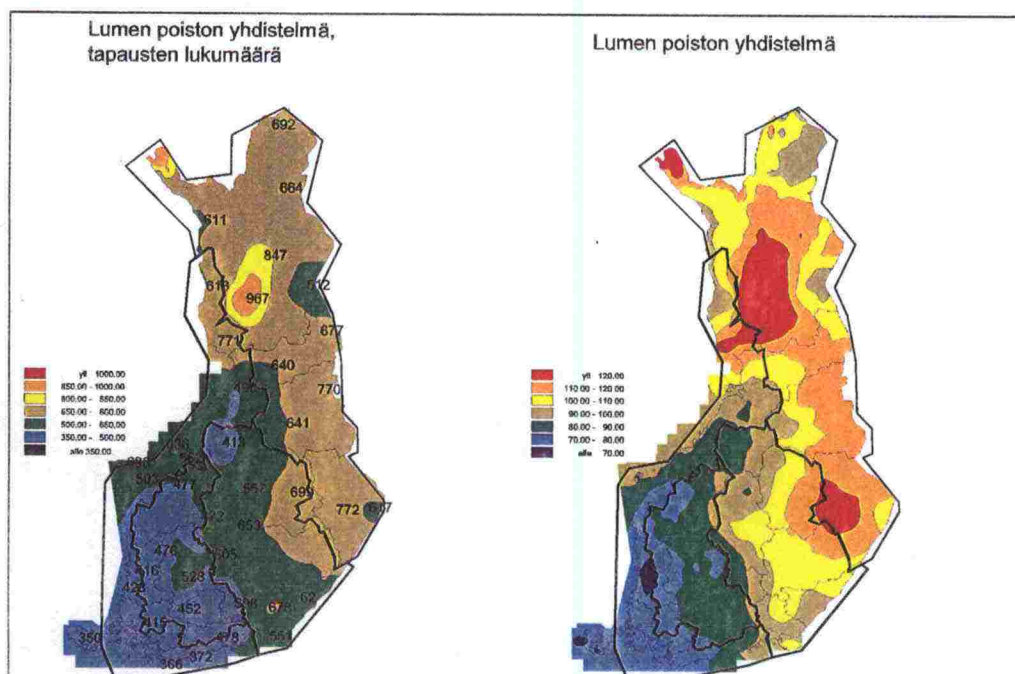
Kuva 4.23 Lumenpoiston suhteellisen säätunnuslukujakauman mukainen karkea ilmastoaluejako.

Liukkauden torjunnan mukaan voidaan ilmastollinen aluejako tehdä karkeasti kuvan 4.24 mukaisesti. Sekä tiesääasematietojen että Ilmatieteen laitoksen tietojen mukaan maa on jaettavissa säätunnuslukujen suhteellisten jakaumien perusteella neljään ilmastoalueeseen. Aluejaot ovat kuitenkin jonkin verran erilaiset. Tiesääasemien ja Ilmatieteen laitoksen arvoja verrattaessa on huomattava, että alueiden väriskaalaus on hieman erilainen. Tiesääasematietojen mukaan maan pohjois- ja itäosan liukkauden säätunnuslukuarvot ovat selvästi keskimääräisiä pienempiä. Ilmatieteen laitoksen arvojen mukaan vastaava alue asettuu Lapin ja Kainuun alueelle. Tässä rajauksessa on otettu erilainen väriskaalaus huomioon siten, että alueen 1 ja 2 raja on piirretty ruskealla väritetyn alueen osalle. Liukkauden säätunnuslukujen suurimmat suhteelliset arvot, pääosin yli 10 % ja osin yli 20 % keskiarvoa suuremmat, löytyvät tiesääasematietojen mukaan Lounais-Suomesta ja länsirannikolta. Ilmatieteen laitoksen sääasematietojen mukaan vastaavan suuruisia arvoja löytyy Lounais-Suomen ja länsirannikon lisäksi koko Etelä-Suomen ja Tornionjokilaakson alueilta.



Kuva 4.24 Liukkaudentorjunnan suhteellisten säätunnuslukujakaumien mukaiset karkeat ilmastoaluejaot.

Yhdistämällä kuvien 4.23 ja 4.24 lumenpoiston ja liukkauden torjunnan säätunnuslukujakaumia noudattelevat ilmastoalueet voidaan päätyä kuvan 4.25 talvihoidon karkeaan ilmastoaluejakoon, jossa alueiden rajat on jo tarkistettu vastaamaan tiemestaripiirien rajoja.



Kuva 4.25 Suhteellisiin säätunnuslukujen jakaumiin perustuva karkea talvihoidon ilmastoaluejako.

Pohjois-Suomi ja Itä-Suomi muodostavat sekä lumenpoiston että liukkauden torjunnan mukaan jokseenkin yhtenäisen alueen. Tästä alueesta lounaaseen voidaan erottaa erityisesti lumenpoiston säätunnuslukujakaumien mutta myös tiesääasemien liukkauden torjunnan säätunnuslukujen mukaan 2-3 ilmastollisesti erillistä aluetta. Näiden mukaan muodostetaan kuvassa 4.25 olevat Keski- ja Kaakkois-Suomen alue ja Lounais- ja Länsi-Suomen alue. Rannikkoalue muodostaa ilmastollisesti oman alueensa. Rannikkoalueesta voidaankin muodostaa lumenpoiston ja liukkauden torjunnan säätunnuslukujakaumien yhdistelmänä jokseenkin yhtenäinen etelärannikolta Tornionjokilaaksoon ulottuva ilmastoalue.

Edellä saatua nelijakoista ilmastoalueryhmittelyä voitaneen vielä tarkentaa Lapin ja Itä-Suomen alueen ja rannikkoalueen osalta. Lapin ja Itä-Suomen alueen osalta voidaan todeta lumenpoiston säätunnuslukuarvoissa (kuva 4.23) selvät huippulukemat Lapissa ja maan Itä-Kaakkoisosissa. Sama tilanne näkyy myös hyvin selvästi tiemestaripiirien mukaisessa jaottelussa kuvassa 4.9. Tiesääasemien mukaisessa liukkauden torjunnan säätunnuslukujakaumissa (kuva 4.24) erottuvat myös samat alueet väliin jäävästä Kainuun alueesta. Edellä olevan mukaan voidaan Lapin ja Itä-Suomen alue jakaa kolmeen osaan kuvan 4.26 mukaisesti siten, että Lappi, Kainuu ja alkuperäisen alueen eteläosa muodostavat kukin oman alueensa.



Kuva 4.26 Talvi-indeksilaskelmissa käytettävä tarkistettu ilmastoaluejako.

Rannikkoalueen osalta voidaan erityisesti lumenpoiston (kuva 4.23) säätunnusluku-jakaumien mukaan todeta, että rannikkoalueen eteläisen osan säätunnuslukuarvot ovat selvästi pohjoista pienempiä. Liukkauden säätunnuslukujen suhteen eteläisen osan arvot ovat pääosin alueen pohjoisen osan arvoja selvästi suurempia. Näin ollen rannikkoalueen osalta voitaneen aluejakoa tarkentaa jakamalla se eteläiseen ja pohjoiseen alueeseen. Lopputuloksena saadaan kuvan 4.26 mukainen seitsemän alueen muodostama tarkennettu ilmastoaluejako.

5 TALVIHOITOPANOSTEN JA SÄÄTUNNUSLUKIJEN VÄLINEN YHTEYS

5.1 Tarkastelun periaatteet

Tarkastelun lähtökohtana on määrittää talvihoidon kustannustietojen ja säätunnuslukujen sekä niiden yhdistelmien välisiä yhteyksiä lähinnä korrelaatiokertoimien avulla. Korrelaatiokertoimien arvot ilmoitetaan Pearsonin korrelaatiokertoimena, joka ilmoittaa muuttujien välisen korrelaation vakiotekijä mukaanluettuna. Tarkastelujen tavoitteena on selvittää eri säätunnuslukujen merkitys kustannusten syntyyn ilman, että säätunnusluville on annettu painokertoimia.

Korrelaatiotarkasteluja tehdään erikseen talvihoidon, lumenpoiston, liukkaudentorjunnan, hiekoituksen ja suolauksen suhteen. Korrelaatiokertoimia lasketaan myös eri alueiden aineistoille. Korrelaatiotarkastelujen perimmäisenä pyrkimyksenä on löytää parhaat mahdolliset säätunnusluku- ja alueyhdistelmät regressiomallitarkastelua varten.

5.2 Käytettävät kustannustiedot ja säätunnusluvut

Korrelaatiokertoimet lasketaan talvihoidon kustannussummien (talvihoito, lumenpoisto, liukkaudentorjunta, hiekoitus ja suolaus) ja vastaavien säätunnuslukusummien välille käyttäen aluejakona koko maata, tielaitoksen tuotantoalueita, tiepiirejä ja luvussa 4 kehitettyjä ilmastoalueita. Lumenpoistokustannuksiin lasketaan kustannukset litteroilta 9120 auraus, 9130 pinnan tasaus ja 9140 muut lumenpoistoon liittyvät työt. Liukkaudentorjuntakustannuksiin lasketaan kustannukset litteroilta 9150 hiekoitus ja 9160 suolaus. Talvihoidon kustannuksiin lasketaan edellä esitettyjen lumenpoiston ja liukkaudentorjunnan kustannusten lisäksi litteran 9100 kustannukset. Säätunnuslukujen yhdistelmät määritetään luvussa 4 esitetyn jaottelun mukaisesti.

Korrelaatiolaskentojen lähtöarvojen perusyksikkönä ovat tiemestaripiirit. Tiemestaripiirikohtaisia arvoja käytetään tarkasteluissa joko erillisinä arvoina tai tarkasteltavan alueen tiemestaripiirien keskiarvoina. Tarkasteluajanjaksona käytetään laskennoissa vuosia 1992-1996.

5.3 Kustannusten ja säätunnuslukujen väliset korrelaatiot

Tarkastelu aloitetaan koko maan aineistosta, josta edetään alueellisesti tarkentaen tuotantoaluejakoon, tiepiirijakoon ja ilmastoaluejakoon. Näissä alueellisissa tarkasteluissa käytetään vertailuarvoina säätunnuslukuyhdistelmiin perustuvia korrelaatioita. Säätunnuslukuyhdistelmiin perustuvien korrelaatioiden lisäksi on kullekin alueelle laskettu vielä yksittäisten säätunnuslukujen ja talvihoidon kustannusten väliset korrelaatiot. Nämä on esitetty kokonaisuutena liitteessä 7. Kustannustietoina käytetään tarkasteluissa pääsääntöisesti aluekorjattuja kustannuksia.

Oheisissa taulukoissa ja liitteessä 7 esiintyvien lyhennysten selitykset ovat seuraavanlaiset:

- Klp = lumenpoistokustannukset
- Klpa = aluekorjatut lumenpoistokustannukset
- Klt = liukkaudentorjuntakustannukset
- Klt a = aluekorjatut liukkaudentorjuntakustannukset
- Kth = talvihoitokustannukset (Klp+Klt+ 100-litteran kust.)
- Kth a = aluekorjatut talvihoitokustannukset
- Ksuo = suolauskustannukset litteralta 9160
- Khie = hiekoituskustannukset litteralta 9150
- Silp = lumenpoiston säätunnuslukujen summa, Ilmatieteen laitos
- Silt = liukkaudentorjunnan säätunnuslukujen summa, Ilmatieteen laitos
- Sitielu = liukkaudentorjunnan säätunnuslukujen summa, tiesääasemat
- Si = säätunnuslukujen summa, Ilmatieteen laitoksen lumenpoisto ja liukkaudentorjunta
- Siliulp = säätunnuslukujen summa, Ilmatieteen laitoksen lumenpoisto ja tiesääasemien liukkaudentorjunta

Koko maan tarkastelussa saadaan talvihoidon ja lumenpoiston säätunnuslukuyhdistelmien ja vastaavien kustannusten välille kohtuullisen hyvät riippuvuudet (taulukko 5.1). Korrelaatiokertoimet ovat suuruudeltaan luokkaa 0,4. Sen sijaan liukkaudentorjunnan osalta korrelaatiot on selvästi huonompia. Erityisen alhaisia vain 0,06-0,09 ovat korrelaatiot Ilmatieteen laitoksen säätunnuslukuaroja käytettäessä.

Taulukko 5.1 Korrelaatiokertoimet koko maan alueella tiemestaripiiritarkastelun perusteella. Ajanjaksona on käytetty vuosia 1992-1996.

	KLPA	KLTA	KTHA
SILP	0.4404	0.0973	0.3505
SILT	0.0857	0.0618	0.0686
SITIELIU	0.1452	0.2688	0.2057
SILIULP	0.4294	0.2202	0.3856
SI	0.4387	0.1049	0.3472

Seuraavaksi mallien alueellista rakentamista voidaan tarkentaa tielaitoksen tuotantoaluejaon mukaiseksi (taulukko 5.2). Pääsääntöisesti korrelaatiokertoimet paranevat hieman koko maan tarkasteluun verrattuna lukuun ottamatta Etelä-Suomen tuotantoaluetta. Etelä-Suomen tuotantoalueen alhaisiin korrelaatiokertoimen arvoihin vaikuttaa aluekorjattujen kustannusten yhteydessä laskentapisteen pieni määrä. Koko talvihoidon osalta kustannusten ja sääennustelukertymien välisten korrelaatioiden arvot ovat Etelä-Suomen aluetta lukuun ottamatta välillä 0,35-0,42. Lumenpoistossa vastaavat korrelaatiot ovat välillä 0,44-0,52.

Liukkaudentorjunnan sääennustelukertymien ja kustannusten väliset korrelaatiot ovat tiesääasematietoja käytettäessä välillä 0,19-0,32. Ilmatieteen laitoksen sääasemien arvoja käytettäessä korrelaatiot ovat erittäin pieniä ja osin vielä negatiivisia.

Taulukko 5.2 Tärkeimmät korrelaatiokertoimet tuotantoalueittain. Arvot on laskettu tiemestaripiiritarkastelun perusteella. Ajanjaksona on käytetty vuosia 1992-1996.

	Pohjois-Suomi	Itä-Suomi	Etelä-Suomi	Länsi-Suomi
SILP vs KLPA	0.4460	0.5231	0.1751	0.4355
SILT vs KLTA	0.0537	0.0724	-0.0170	-0.0116
SITIELIU vs KLTA	0.1900	0.3165	0.2870	0.2977
SILIULP vs KTHA	0.3509	0.4128	0.2491	0.4157
SI vs KTHA	0.3731	0.3963	0.1594	0.3558

Kun siirrytään edelleen tuotantoaluetta tarkempaan tiepiirikohtaiseen tarkasteluun, voidaan todeta korrelaatiokertoimien yleisesti kasvavan verrattuna tuotantoalueiden arvoihin (taulukko 5.3). Tiepiirien väliset vaihtelut ovat kuitenkin suhteellisen suuria. Koko talvihoidon osalta vaihtelevat korrelaatiokertoimien arvot välillä 0,33-0,65 käytettäessä sääennustelukuyhdistelmässä tiesääasemien liukkauden sääennustelukuja. Käytettäessä Ilmatieteen laitoksen sääasemien liukkauden sääennustelukuja ovat riippuvuudet jonkin verran alhaisempia, 0,25-0,59. Lumenpoiston osalta riippuvuudet ovat samaa suuruusluokkaa, korrelaatiokertoimen vaihdellessa välillä 0,25-0,66.

Liukkauden torjunnan (tiesääasematiedot) suhteen korrelaatiot vaihtelevat vastavasti välillä 0,27-0,47 lukuun ottamatta Lapin tiepiiriä, jossa korrelaatio on muita selvästi alhaisempi, vain 0,17. Ilmatieteen laitoksen liukkauden sääennustelukuja käytettäessä ovat korrelaatiot tiepiiritarkastelussa samoin kuin tuotantoaluetarkastelussa erittäin alhaisia.

Taulukko 5.3 Tärkeimmät korrelaatiokertoimet tiepiireittäin. Arvot on laskettu tiemestaripiiritarkastelun perusteella. Ajanjaksona on käytetty vuosia 1992-1996.

	Häme	Kaakkois-Suomi	Keski-Suomi	Lappi	Oulu	Savo-Karjala	Turku	Vaasa
SILP vs KLPA	0.3214	0.6575	0.5202	0.5264	0.3750	0.5140	0.2520	0.6160
SILT vs KLTA	-0.0043	0.0209	-0.2858	0.1123	0.0646	0.0519	0.0389	-0.0042
SITIELIU vs KLTA	0.2661	0.2854	0.4695	0.1717	0.3042	0.3833	0.2863	0.3746
SILIULP vs KTHA	0.4501	0.6511	0.5066	0.3256	0.4072	0.3825	0.3395	0.4375
SI vs KTHA	0.3567	0.5866	0.3791	0.3420	0.3934	0.3759	0.2495	0.4310

Kun tarkastellaan kustannusten ja säätunnuslukukertymien välisiä yhteyksiä luvussa 4 esitetyn karkean neljä aluetta käsittävän ilmastoaluejaon mukaan (taulukko 5.4), voidaan todeta, että korrelaatiot ovat yleisesti ottaen korkeampia verrattuna yhtä monta aluetta käsittävän tuotantoaluejaon mukaisiin riippuvuuksiin. Edelleen on havaittavissa, että ilmastoaluejakoon perustuvassa tarkastelussa alueiden väliset erot korrelaatiokertoimissa ovat tiepiirijaon eroja pienempiä vaikka ilmastoaluejako on selvästi tiepiirijakoa harvempi. Edellä olevat havainnot osoittavat, että jo neljä aluetta käsittävällä karkealla ilmastoaluejaolla on pystytty lähestymään talvihoitotarpeen mukaista alueellista jakoa.

Taulukko 5.4 Korrelaatiokertoimet karkean ilmastoaluejaon mukaan. Arvot on laskettu tiemestaripiiritarkastelun perusteella. Ajanjaksona on käytetty vuosia 1992-1996.

	Itä-Pohjoinen	Keski-Kaakkoinen	Lounainen	Rannikko
SILP vs KLPA	0.4297	0.5481	0.3975	0.3950
SILT vs KLTA	0.0905	-0.0177	0.0224	0.0027
SITIELIU vs KLTA	0.2177	0.3664	0.2733	0.3176
SILIULP vs KTHA	0.3633	0.4344	0.4500	0.3687
SI vs KTHA	0.3757	0.3772	0.3882	0.2946

Taulukon 5.5 mukainen tarkennettu seitsemän alueen muodostama aluejako eroaa taulukon 5.4 mukaisesta neljän alueen jaosta siten, että nelijaon mukainen Itä-Pohjoinen ilmastoalue on jaettu kolmeen pienempään alueeseen, Lappi, Ylä-Itäinen ja Ala-Itäinen ja Rannikko alue on jaettu Länsi/Etelä-Rannikkoon ja Pohjois-Rannikkoon.

Verrattaessa karkean jaon Itä-Pohjoinen ilmastoalueen korrelaatiokertoimia alueesta muodostettujen osa-alueiden korrelaatioihin voidaan todeta, että alueen Ala-Itäinen osalta riippuvuudet ovat parantuneet kauttaaltaan. Ylä-Itäinen alueella riippuvuudet ovat parantuneet erityisesti talvihoidon kokonaisuuden osalta. Lapin osalta korrelaatio on parantunut merkittävästi alueella tärkeän lumenpoiston suhteen. Muilta osin riippuvuuksissa ei ole tapahtunut oleellisia muutoksia.

Rannikkoalueen jako kahteen ilmastoalueeseen on yleisesti ottaen parantanut kustannusten ja säätunnuslukukertymien välisiä riippuvuuksia. Pohjois-Rannikon alueella on parannusta tapahtunut merkittävästi talvihoidon kokonaisuuden osalta ja myöskin lumenpoiston suhteen. Länsi/Etelä-rannikon alueella riippuvuus on paran-

tunut erityisesti alueella tärkeän liukkauden torjunnan (tiesääasemat) osalta. Muilta osin ei ole tapahtunut oleellisia muutoksia suuntaan tai toiseen.

Yleisesti ottaen ilmastoaluejaon tarkentaminen neljästä seitsemään on parantanut tärkeimpien säätunnuslukukertymien ja kustannusten välisiä korrelaatioita Itä-Pohjoinen alueen osalta lähes viidenneksen ja rannikon osalta runsaan kymmeneksen.

Taulukko 5.5 Korrelaatiokertoimet tarkennetun ilmastoaluejaon mukaan. Arvot on laskettu tiemestaripiiritarkastelun perusteella. Ajanjaksona on käytetty vuosia 1992-1996.

	Lappi	Ylä-Itäinen	Ala-Itäinen	Keski-Kaakkoinen	Lounainen	LänsiEtelä-Rannikko	Pohjois-Rannikko
SILP vs KLPA	0.5264	0.3896	0.5176	0.5481	0.3975	0.3781	0.4647
SILT vs KLTA	0.1123	0.0290	0.0953	-0.0177	0.0224	0.0128	0.0564
SITIELIU vs KLTA	0.1717	0.2545	0.4259	0.3664	0.2733	0.4177	0.2598
SILIULP vs KTHA	0.3256	0.4970	0.4499	0.4344	0.4500	0.3664	0.5355
SI vs KTHA	0.3420	0.4407	0.4182	0.3772	0.3882	0.2667	0.5891

Ilmastoalueiden tiemestaripiirien keskiarvoja käyttäen lasketut säätunnuslukukertymien ja kustannusten väliset korrelaatiot (taulukko 5.6) ovat selvästi tiemestaripiireittäin laskettuja arvoja (taulukko 5.5) korkeammat. Perussyynä tähän on tietysti se, että keskiarvojen käyttö pienentää lähtöarvojen hajontoja ja samalla myöskin havaintoaineiston koko pienenee.

Taulukko 5.6 Korrelaatiokertoimet ilmastoalueittain, joiden arvot on laskettu keskiarvotarkastelun perusteella. Ajanjaksona on käytetty vuosia 1992-1996.

	Lappi	Ylä-Itäinen	Ala-Itäinen	Keski-Kaakkoinen	Lounainen	LänsiEtelä-Rannikko	Pohjois-Rannikko
Silp vs KlP	0,6766	0,4515	0,6565	0,8021	0,6383	0,6706	0,5161
Silt vs Klt	0,1386	0,0578	0,0886	0,0621	0,0698	0,1390	0,0563
Sitieliu vs Klt	0,227	0,244	0,644	0,504	0,472	0,520	0,339
Siliulp vs Kth	0,6588	0,6397	0,6112	0,8042	0,5764	0,5407	0,7301
SI vs Kth	0,601	0,655	0,650	0,857	0,646	0,622	0,727

Keskiarvoja käyttäen ovat korrelaatiokertoimet lumenpoiston ja koko talvihoidon osalta pääosin välillä 0,6-0,8. Vastaavat korrelaatiot ovat tiemestaripiiritarkastelussa tasolla 0,4-0,6. Liukkaudentorjunnassa (tiesääasemat) korrelaatiot ovat keskiarvotarkastelussa Pohjois-Suomea lukuun ottamatta välillä 0,5-0,6 vastaavien arvojen ollessa tiemestaripiiritarkastelussa 0,3-0,4. Ilmatieteen laitoksen säätunnuslukuja käytettäessä ovat liukkaudentorjunnan korrelaatiot myös keskiarvotarkastelussa hyvin pieniä.

Yksittäisistä säätunnusluvuista korreloivat lumenpoiston kustannusten kanssa vaihtelevasti lumenpoistoa kuvaavat eri säätunnusluvut (taulukko 5.7): 12 tunnin lumisade >2 mm (sade 2), lumisadetapausten lukumäärä (lusa) ja lumisadesumma mm / kk (lumsadsu). Samat säätunnusluvut selittävät parhaiten myös koko talvihoidon

kustannuksia. Molemmissa tapauksissa korrelaatiokertoimet ovat pääosin välillä 0,5-0,7.

Taulukko 5.7 Tärkeimmät korrelaatiokertoimet yksittäisillä säätunnusluvuilla ilmastoalueittain keskiarvotarkastelun mukaisesti. Ajanjaksona on käytetty vuosia 1992-1996.

	Keski-Kaakkoinen	Lounainen	Lappi	Pohjois-Rannikko
Klp	sade2 0,7907	sade2 0,6341	lusa 0,5888	Lumsadsu 0,5376
Klt	tkliusuo 0,675	tkliusuo 0,649	tkliusuo 0,599	Tkliusuo 0,598
Kth	sade2 0,7747	lusa 0,5855	lusa 0,5754	Lumsadsu 0,721
Ksuo	tkliusuo 0,443	tkliusuo 0,607	tlaalto 0,399	Lumsadsu 0,5578
Khie	tkliusuo 0,752	tkliusuo 0,662	tkliusuo 0,601	Tkliusuo 0,649
	Ylä-Itäinen	Ala-Itäinen	LänsiEtelä-Rannikko	
Klp	sade2 0,4823	lumsadsu 0,6482	lusa 0,663	
Klt	tkliusuo 0,523	tkliusuo 0,653	tkliusuo 0,690	
Kth	sade2 0,6748	lumsadsu 0,5875	lusa 0,5756	
Ksuo	tkliusuo 0,342	matiejaat 0,3854	tkliusuo 0,627	
Khie	tkliusuo 0,583	tkliusuo 0,643	tkliusuo 0,713	

	Lappi	Ylä-Itäinen	Ala-Itäinen	Keski-Kaakkoinen
Klp	lusa 0,5888	sade2 0,4823	lumsadsu 0,6482	sade2 0,7907
Klt	tkliusuo 0,599	tkliusuo 0,523	tkliusuo 0,653	tkliusuo 0,675
Kth	lusa 0,5754	sade2 0,6748	lumsadsu 0,5875	sade2 0,7747
Ksuo	tlaalto 0,399	tkliusuo 0,342	matiejaat 0,3854	tkliusuo 0,443
Khie	tkliusuo 0,601	tkliusuo 0,583	tkliusuo 0,643	tkliusuo 0,752
	Lounainen	LänsiEtelä-Rannikko	Pohjois-Rannikko	
Klp	sade2 0,6341	lusa 0,663	Lumsadsu 0,5376	
Klt	tkliusuo 0,649	tkliusuo 0,690	Tkliusuo 0,598	
Kth	lusa 0,5855	lusa 0,5756	Lumsadsu 0,721	
Ksuo	tkliusuo 0,607	tkliusuo 0,627	Lumsadsu 0,5578	
Khie	tkliusuo 0,662	tkliusuo 0,713	Tkliusuo 0,649	

Liukkaudentorjunnan kustannuksia sekä kokonaisuutena että jaoteltuna suolaukseen ja hiekoitukseen selittävät yksittäisistä säätunnusluvuista parhaiten kuuran ja mustan jään muodostumista kuvaava säätunnusluku (tkliusuo). Liukkaudentorjunnan kokonaiskustannusten suhteen korrelaatiokerroin on pääosin välillä 0.6-0.7. Korrelaatio on itse asiassa parempi kuin edellä liukkaudentorjunnan yhdistelmän ja kustannusten välille saatu riippuvuus.

Säätunnuslukuyhdistelmien ja talvihoidon kustannusten väliset alueelliset riippuvuudet tukevat hyvin luvussa 4 muodostettua ilmastoaluejaottelua. Saadut yhteydet ja korrelaatiot säätunnuslukukertymien ja vastaavien talvihoidon kustannusten välillä antavat hyvän lähtökohdan regressiomallien kehittämiseksi.

6 TALVIHOITOKUSTANNUSTEN JA SÄÄTUNNUSLUKUJEN VÄLISET REGRESSIOMALLIT

6.1 Tarkastelun periaatteet

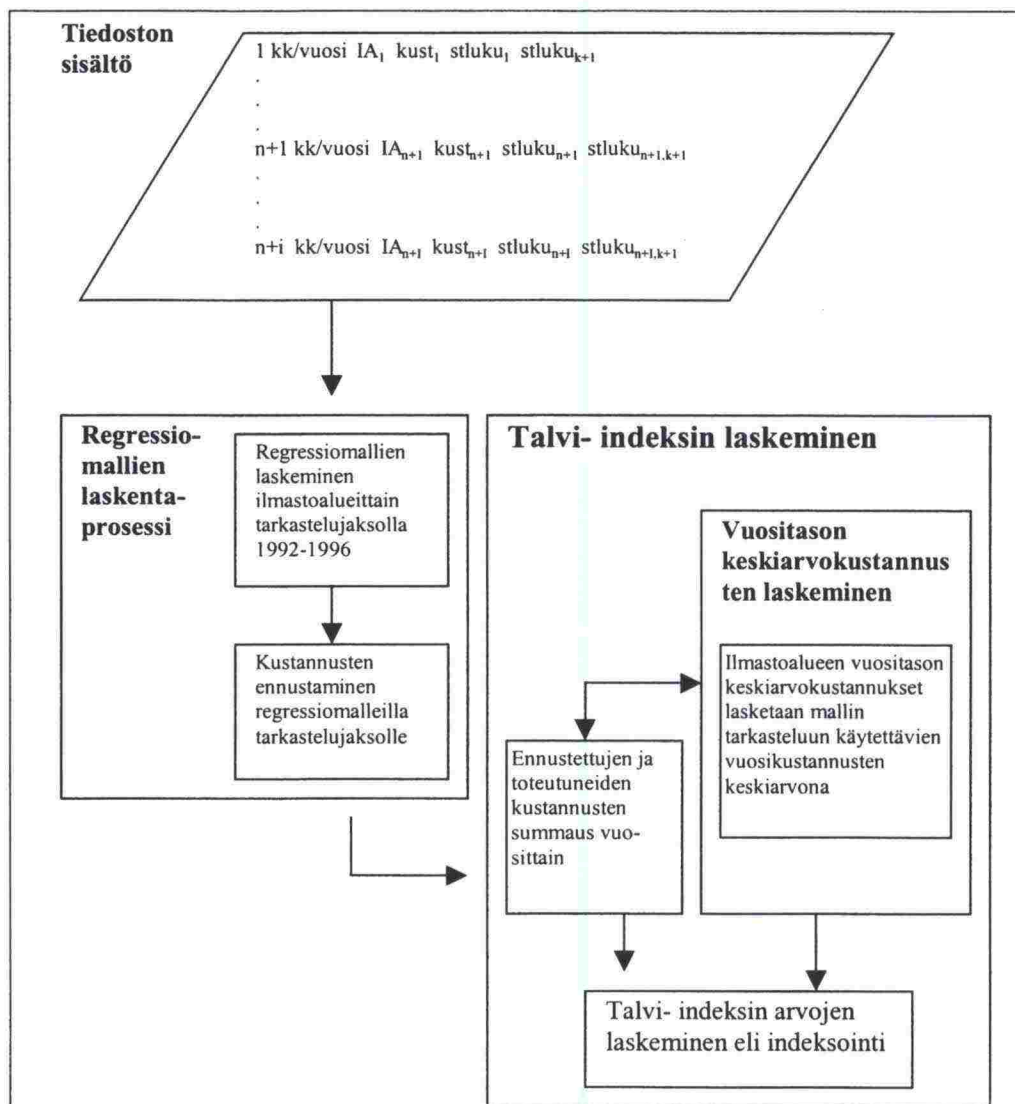
Talvihoitokustannusten ja säätunnuslukujen väliset regressiomallit muodostetaan koko maan aineistolle ja erikseen kullekin ilmastoalueelle. Mallit kehitetään erikseen lumenpoistolle ja liukkaudentorjunnalle. Talvihoidon kustannukset saadaan laskemalla yhteen lumenpoiston ja liukkaudentorjunnan mallien mukaiset kustannukset.

Mallit pohjautuvat tiemestaripiirien kuukausitason talvihoitokustannuksiin ja sää-tunnuslukukertymiin (kuva 6.1). Mallien muodostamisessa käytetään kulloinkin tarkasteltavan alueen kaikkien tiemestaripiirien arvoja. Jotta näin voitaisiin menettellä tulee tiemestaripiirien tavihoitoluokittaisen tieverkon erilaisuudesta aiheutuva kustannustasoero korjata. Tämä tehdään luvussa 3.24 esitetyn alueellisen tasauskertoimen avulla.

Regressiomallien rakentamisessa käytetään valikoivaa Stepwise-menetelmää muuttujien valinnassa. Selittävä muuttuja valitaan malliin, jos se on vähintään tilastollisesti melkein merkitsevä. Jos malliin tulee mukaan kaksi tärkeää tilastollisesti merkitsevää muuttujaa, joiden keskinäinen korrelaatiokerroin on luokkaa 0.8, voidaan muuttujat yhdistää yhdeksi muuttujaksi tai huonompi selittäjä voidaan poistaa mallista.

Kehitetyt regressiomallit esitetään luvun 6.2 taulukoissa. Jokaisessa taulukossa esitetään yhdellä rivillä muuttujan nimi ja selitys, muuttujan absoluuttisten arvojen laskentajakson kuukausikeskiarvo, muuttujan regressiokerroin, t-arvo ja sen merkitsevyys (***) tilastollisesti erittäin merkitsevä 0.001, ** tilastollisesti merkitsevä 0.01 ja * tilastollisesti melkein merkitsevä 0.05), selitysasteen kehitys lisättäessä muuttujia malliin, keskivirhe (prosenttiarvo = $(\text{keskivirhe} / \text{laskentajakson toteutuneiden kustannusten keskiarvo}) \cdot 100$) ja selitysasteen merkitsevyys F-jakauman avulla tulkituna.

Mallien toimivuutta voidaan tarkastella edellä esitettyjen tilastollisten tunnuslukujen avulla. Mallien toimivuutta on luvussa 6.2 tarkasteltu myös vertaamalla malleilla saatuja kuukausitason kustannuksia vastaaviin toteutuneisiin kustannuksiin. Vertailu on tehty ilmastoalueittain alueella olevien tiemestaripiirien keskiarvokustannuksia käyttäen.



Kuva 6.1 Tiemestaripiiritarkastelun mukainen regressiomallien kehittämisprosessi.

Mallien mukaiset keskiarvokustannukset on määritetty kehitetyillä malleilla lasket-
tujen ilmastoalueen yksittäisten tiemestaripiirien kustannusten keskiarvona.

Talvihoitokustannusmallien perusteella määritetään koko maahan ja eri ilmastoalu-
eille vuositason talvi-indeksin arvot (kuva 6.1). Talvi-indeksien avulla voidaan mi-
tata eri talvien ankaruutta talvihoidon kannalta. Ankaruuden mittarina käytetään
sääennustelukertymiin pohjautuvien mallien mukaisia talvihoidon kustannuksia.
Mallien avulla saatujen talvi-indeksiarvojen toimivuutta tarkastellaan luvussa 6.3
vertaamalla niitä toteutuneisiin kustannuksiin perustuviin talvi-indeksin arvoihin.

6.2 Talvihoitokustannusmallit

6.21 Koko maan aineistosta kehitetyt regressiomallit

Koko maan käytettävissä olevasta aineistosta kehitetään lumenpoistokustannuksia kuvaava regressiomalli (taulukko 6.1). Lumenpoistokustannuksia kuvaa parhaiten kuukauden lumisademäärä, jonka lisäksi mallissa on lumen ajautuminen, kuukauden keskilämpötila ja lämpöaalto säätunnusluvut. Kaikki mallissa olevat säätunnusluvut ovat loogisia lumenpoistoa kuvaavia säätunnuslukuja ja ne ovat kaikki tilastollisesti erittäin merkitseviä. Mallin hyvyttä kuvataan selitysasteella ja keskivirheellä. Selitysaste on $R^2 = 53,2 \%$ ja selitysaste on tilastollisesti erittäin merkitsevä. Itseasiassa kaikkien mallien selitysasteet ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Keskivirheen suuruus on korkea verrattaessa sitä keskimääräisiin toteutuneisiin kuukausikustannuksiin (106 %). Koko maan lumenpoistomallin toimivuutta on kokeiltu jatkossa myös ilmastoalueen Ylä-Itäinen aineistoon (kuva 6.17)

Taulukko 6.1 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selitysasteen merkitsevyys
lumsadsu	Lumisademäärä / kk	30,81	29499	12,689***	0,498	1754854	F = 1499*** N-1 = 1512
lumaja	lumen ajautuminen	7,71	28526	5,358***	0,522	1712933	F = 824,7*** N-2 = 1511
kkkalamp	kuukauden keskilämpötila	-3,59	-55959	-4,924***	0,527	1703929	F = 561,3*** N-3 = 1510
tlalto	lämpöaalto (tie)	8,23	27509	4,033***	0,532	1695383 (106%)	F = 429,3*** N-4 = 1509
$KLP = 29499 * \text{lumsadsu} + 28526 * \text{lumaja} - 55959 * \text{kkkalamp} + 27509 * \text{tlalto}$							(6.1)

Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen koko maan aineistosta kehitetty regressiomalli sisältää sekä tiesääasemilta että Synop-asemilta määritettäviä säätunnuslukuja (taulukko 6.2). Tärkein malliin tuleva säätunnusluku kuvaa kuuran ja mustan jään muodostumista, kun tienpinnan lämpötila on välillä 0 ... -5 °C: tta. Lisäksi jäätympisteiden alitus- ja 12 tunnin sademäärä yli 2 mm -säätunnusluvut ovat mukana mallissa. Mallin ongelmaksi muodostuu samoin kuin edellä alhainen selitysaste ($R^2 = 44,1 \%$) ja korkea keskivirhe.

Taulukko 6.2 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t- arvo	Selitysaste R ²	Keskivirhe	Selitystasteen merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliukaus ja suolaus (tie)	27,87	20394	17,520***	0,428	1021403	F = 1130*** N-1 = 1510
jaatpali	jäätymisspisteiden alitus	8,45	13831	3,921***	0,438	1012880	F = 587,9*** N-2 = 1509
sade2	12 tunnin sademäärä > 2mm	4,74	18921	2,651**	0,441	1010864 (125%)	F = 395,9*** N-3 = 1508
$KLT = 20394 * tkliusuo + 13831 * jaatpali + 18921 * sade2$						(6.2)	

6.22 Ilmastoalueen LänsiEtelä-Rannikko regressiomallit

Ilmastoalueella LänsiEtelä-Rannikko lumenpoistokustannusmalli muodostuu lumisade- ja tiesääasemilta määritettävästä lämpöaalto-säätunnusluvusta (taulukko 6.3). Kummatkin muuttujat ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ja lumisade on tärkeämpi lumenpoistokustannuksia selittävä säätunnusluku. Selitysaste on 61,7 %, joka on lähes 10 %-yksikköä korkeampi kuin koko maan aineistosta kehitetyn vastaavan mallin selitysaste. Keskivirhe on kuitenkin kohtuullisen suuri (85 %) laskentajakson keskimääräisiin toteutuneisiin kustannuksiin verrattaessa. Keskivirhe on laskettu ilmastoalueen kaikkien tiemestaripiiriarvojen perusteella, jolloin varianssi on suurempi kuin ilmastoalueen arvoja eli tiemestaripiirien arvojen keskiarvoja tarkasteltaessa. Tällöin keskivirheen suhteellinen arvo ei kerro koko totuutta mallin toimivuudesta ilmastoalueen arvoja laskettaessa.

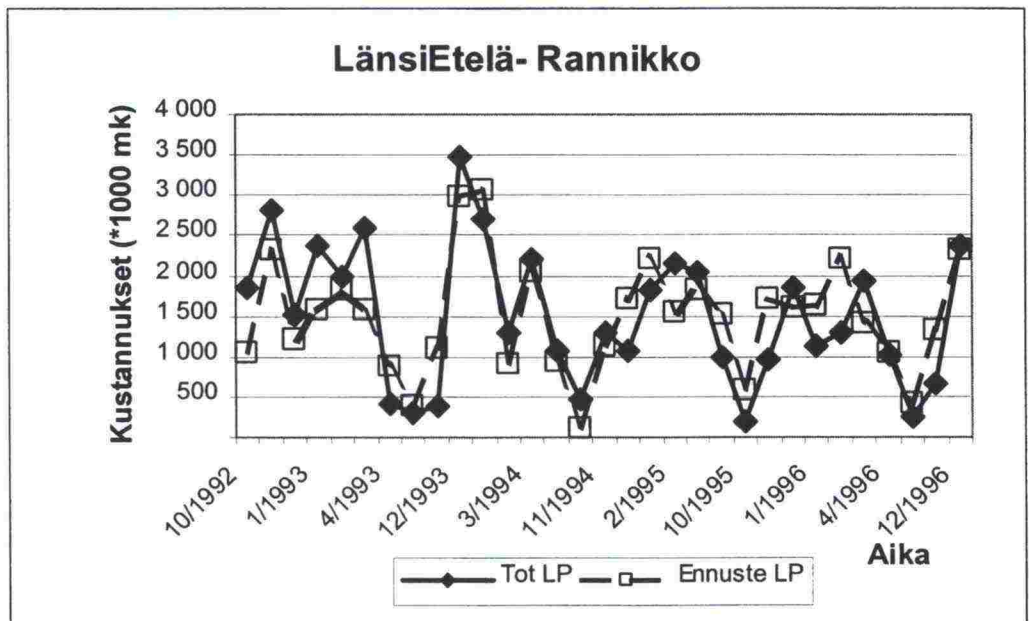
Taulukko 6.3 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R ²	Keskivirhe	Selitystasteen merkitsevyys
lusa	lumisade	28,74	33862	9,298***	0,578	1353600	F = 269,6*** N-1 = 197
tlaalto	lämpöaalto (tie)	8,92	55527	4,491***	0,617	1292194 (85%)	F = 160,0*** N-2 = 196
$KLP = 33862 * lusa + 55527 * tlaalto$						(6.3)	

Toteutuneita ja ennustettuja kustannuksia voidaan tarkastella kustannus-aika-koordinaatistossa, josta nähdään mallilla ennustettujen kustannusten toimivuus eri ajanjaksoina. Mallilla on ennustettu kustannuksia laskentaan käytetyille tiemestaripiireille. Näistä kustannustiedoista lasketaan keskiarvot jokaiselle laskentajakson kuukaudelle. Tällä tavoin tarkastellaan mallien toimivuutta ilmastoalueella. Vertaa-

malla näin saatuja ennustettuja kustannuksia vastaaviin toteutuneisiin voidaan tarkastella mallien toimivuutta.

LänsiEtelä-Rannikon mallilla ilmastoalueen ennustetut lumenpoistokustannukset näyttävät seuraavan toteutuneita lumenpoistokustannuksia kohtuullisen hyvin (kuva 6.2). Malli toimii koko laskentajaksolla yhtä hyvin eikä suuria poikkeamia tapahdu missään vaiheessa. Mallin keskivirhe näyttää kuvaavan ilmastoaluetarkastelussa maksimaalista virhettä. Kun verrataan ilmastoalueen arvoja mallilla laskettuihin arvoihin, ilmastoalueen arvojen keskiarvot pienentävät varianssia ja tulokset keskivirheen osalta parantuvat. Sama ilmiö havaitaan kaikissa malleissa.



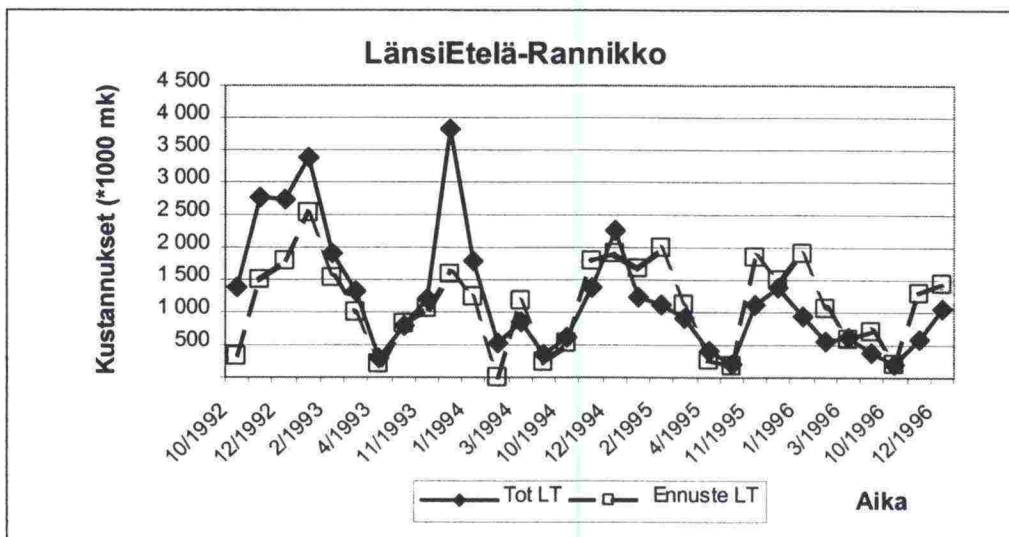
Kuva 6.2 Lumenpoistokustannukset kuukausitasolla.

Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen kehitetty regressiomalli sisältää kaksi muuttujaa: kuuran ja mustan jään muodostuminen ja märän tien jäätyminen -sääennusteluvut (taulukko 6.4). Molemmat muuttujat ovat odotusten mukaisia liukkaudentorjuntaa selittäviä sääennustelukuvia. Regressiomallin selitysaste on $R^2 = 61,2\%$ ja F-testillä tulkittuna tilastollisesti erittäin merkitsevä. Keskivirheen prosentuaalinen osuus toteutuneista liukkaudentorjuntakustannuksista on 89 %, joka on melko korkea.

Ilmastoaluetarkastelussa liukkaudentorjuntamallin keskivirheen suuruus määräytyy pääasiassa vuosien 1992 ja 1993 tiedoista, jolloin toteutuneet liukkaudentorjuntakustannukset ovat olleet selvästi suuremmat kuin vuosina 1994-1996 ja ero ennustettuihin kustannuksiin on suuri. Malli noudattelee kuitenkin kohtuullisen hyvin toteutuneiden kustannusvaihteluiden suuntia.

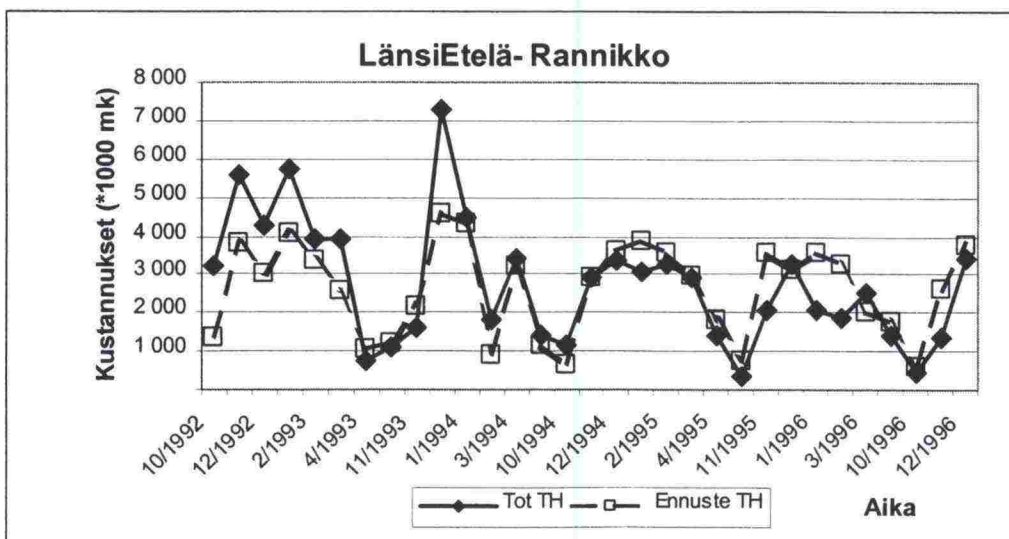
Taulukko 6.4 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selitystasteen merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliukka- kaus ja suolaus (tie)	29,49	36536	14,865***	0,601	1145833	F = 300,0*** N-1 = 199
matiejaat	määrän tien jäätyminen	0,30	374583	2,352*	0,612	1133003 (89 %)	F = 156,2*** N-2 = 198
$KLT = 36536 * tkliusuo + 374583 * matiejaat$							(6.4)



Kuva 6.3 Liukkaudentorjuntakustannukset kuukausitasolla.

Ilmastoalueen ennustetut talvihoitokustannukset määritetään laskemalla mallien mukaiset lumenpoisto- ja liukkaudentorjuntakustannukset yhteen. Ennustetut talvihoitokustannukset seuraavat toteutuneiden talvihoitokustannusten muutoksia melko hyvin (kuva 6.4). Suurimmat virheet ajoittuvat laskentajakson alkuun ja johtuvat pääosin liukkaudentorjunnan mallin poikkeamista.



Kuva 6.4 Talvihoitokustannukset kuukausitasolla.

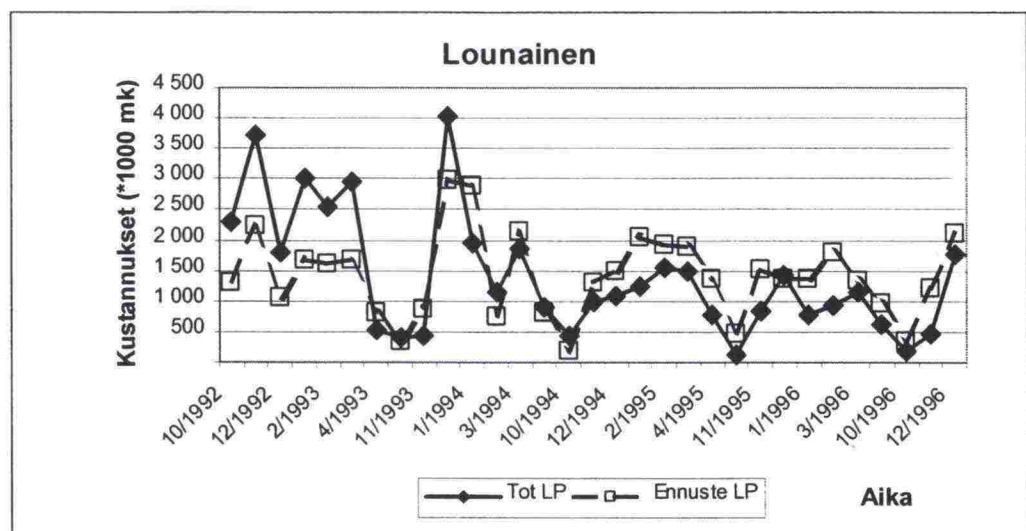
6.23 Ilmastoalueen Lounainen regressiomallit

Ilmastoalueella Lounainen lumenpoistokustannuksia ennustavaan malliin on valikoitunut samat muuttujat kuin LänsiEtelä-Rannikon mallissa (taulukko 6.5). Molemmat muuttujat ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Mallin selitysaste on hie-
man pienempi kuin LänsiEtelä-Rannikon vastaavassa mallissa. Keskivirhe on suuri
(93 %).

Taulukko 6.5 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R ²	Keskivirhe	Selitysasteen merkitsevyys
lusa	lumisade	29,93	34771	12,437***	0,564	1365324	F = 419,2*** N-1 = 324
tlaalto	lämpöaalto (tie)	8,68	42387	4,245***	0,587	1330819 (93%)	F = 229,6*** N-2 = 323
KLP = 34771 * lusa + 42387 * tlaalto							(6.5)

Ennustettujen ja toteutuneiden lumenpoistokustannusten muutokset seuraavat koh-
tuullisen hyvin toisiaan, mutta vuosien 1992 ja 1993 aikana virheet ovat suuria (ku-
va 6.5).



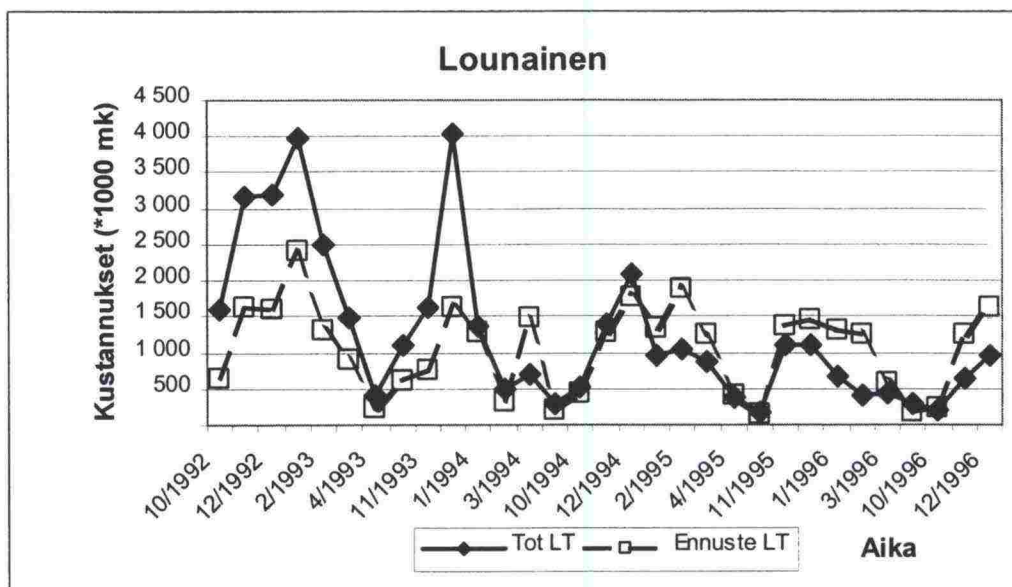
Kuva 6.5 Lumenpoistokustannukset kuukausitasolla.

Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseksi kehitetyssä mallissa on neljä sää-
tunnuslukua (taulukko 6.6). Tärkein selittäjä on kuuran ja mustan jään muodostu-
mista kuvaava säätunnusluku. Tämän lisäksi mallissa on mukana yli 2 mm sateita,
lauhtumisen aiheuttamaa suolausta ja lämpöaaltoa kuvaava säätunnusluku. Mallin
selitysaste ja keskivirhe ovat jokseenkin saman suuruiset kuin lumenpoistomallissa.

Taulukko 6.6 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

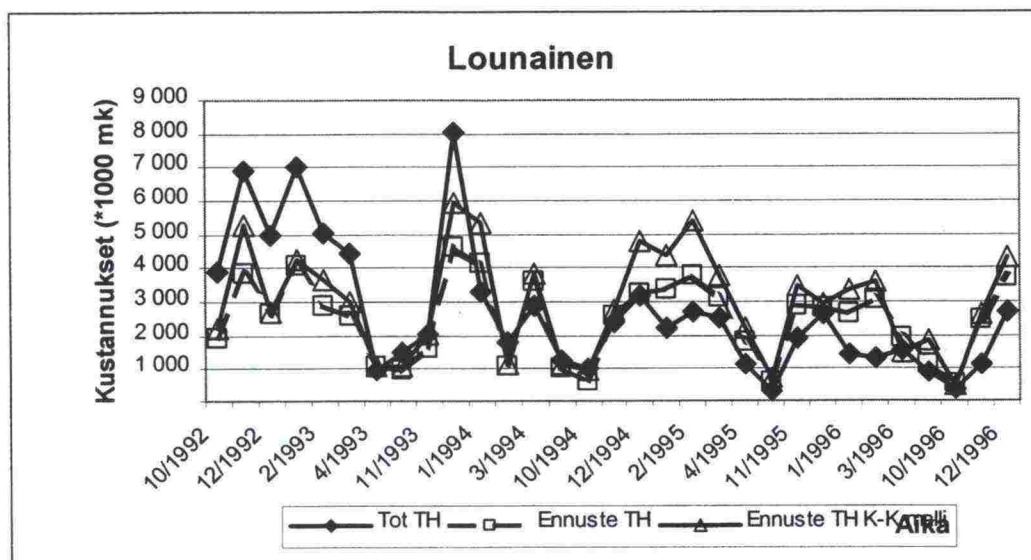
Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R ²	Keskivirhe	Selitystason merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliukkaus ja suolaus (tie)	30,73	22060	8,816***	0,546	1126564	F = 348,7*** N-1 = 320
sade2	12 tunnin sademäärä > 2 mm	4,07	49380	2,396*	0,571	1097212	F = 211,9*** N-2 = 319
lausuo	lauhtuminen ja suolaus	1,15	100826	2,594**	0,580	1086272	F = 146,7*** N-3 = 318
laalto	lämpöaalto	0,18	536742	2,289*	0,587	1079103 (94%)	F = 112,8*** N-4 = 317
$KLT = 22060 * tkliusuo + 49380 * sade2 + 100826 * lausuo + 536742 * laalto$							(6.6)

Ennustetut liukkaudentorjuntakustannukset poikkeavat toteutuneista liukkaudentorjuntakustannuksista eniten vuosina 1992 ja 1993, jolloin kustannukset ovat olleet laskentajakson keskimääräisiä kustannuksia suurempia (kuva 6.6).



Kuva 6.6 Liukkaudentorjuntakustannukset kuukausitasolla.

Talvihoitokustannukset käyttäytyvät samalla tavoin kuin edellä lumenpoisto- ja liukkaudentorjuntakustannukset (kuva 6.7). Suurimmat poikkeamat ennustettujen ja toteutuneiden kustannusten välillä esiintyvät laskentajakson alkupäässä vuosina 1992 ja 1993. Poikkeamat ovat vuoden ajanjaksolla tarkasteltaessa lähes aina samansuuntaisia, paitsi vuonna 1994.



Kuva 6.7 Talvihoitokustannukset kuukausitasolla.

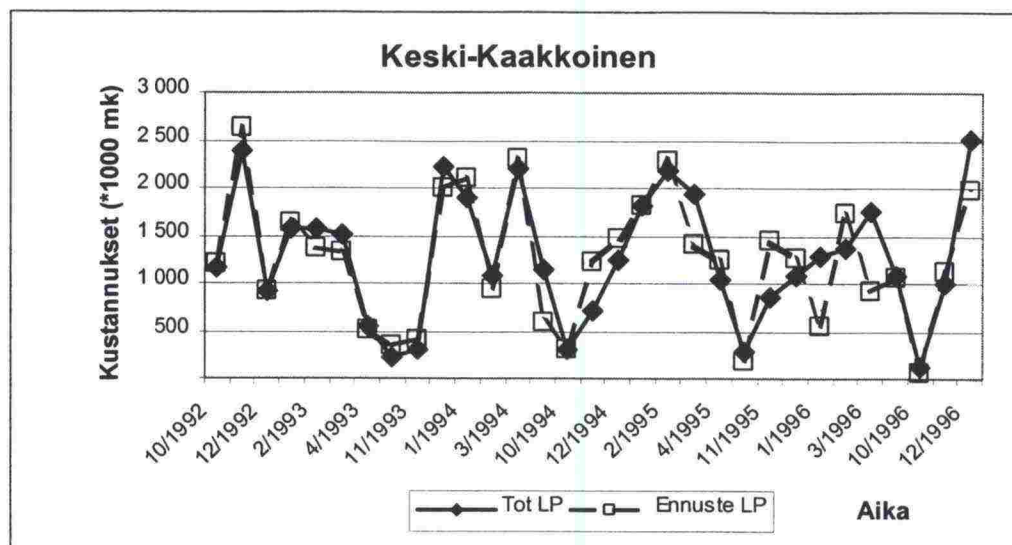
6.24 Ilmastoalueen Keski-Kaakkoinen regressiomallit

Ilmastoalueella Keski-Kaakkoinen Lumenpoistokustannuksia selittävissä mallissa on kolme säätunnuslukua: 12 tunnin sademäärä yli 2 mm, kuukauden keskilämpötila ja lämpöaalto (taulukko 6.7). Nämä säätunnusluvut ovat odotusten mukaisia lumenpoistoa selittäviä tekijöitä ja kyseiset säätunnusluvut ovat kaikki tilastollisesti erittäin merkitseviä. Mallin selitysaste on 75 % ja keskivirheen prosentuaalinen arvo on 66 %.

Taulukko 6.7 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selitysasteen merkitsevyys
sade2	12 tunnin sademäärä > 2 mm	4,88	163409	10,772***	0,719	871563	F = 676,5*** N-1 = 264
kkkalamp	kuukauden keskilämpötila	-3,26	-57395	-4,607***	0,733	850892	F = 361,9*** N-2 = 263
tlaalto	lämpöaalto (tie)	7,94	31797	4,123***	0,750	826137 (66%)	F = 261,6*** N-3 = 262
$KLP = 163409*sade2 - 57395*kkkalamp + 31797*tlaalto$							(6.7)

Ilmastoalueen ennustettuja ja toteutuneita kustannuksia tarkasteltaessa havaitaan, että ennustetut kustannukset seuraavat tarkasti toteutuneita kustannuksia lukuun ottamatta vuoden 1996 alkutalvea, jolloin mallin mukaiset kustannukset poikkeavat toteutuneista sekä ylös että alaspäin (kuva 6.8).



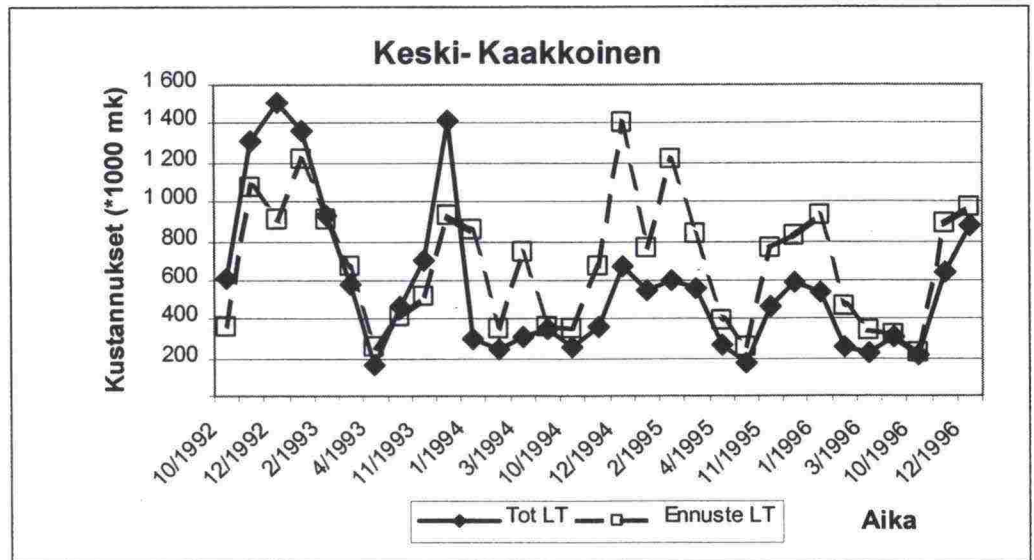
Kuva 6.8 Lumenpoistokustannukset kuukausitasolla.

Liukkaudentorjuntakustannuksia ennustavassa regressiomallissa on mukana tiesää-
asemilta määritettävät kuuran ja mustan jään muodostuminen ja lämpöaalto sekä
Synop-sääasemilta määritettävät lauhtumisesta aiheutuva suolaus ja kuuran muo-
dostuminen ja hiekoitus (taulukko 6.8). Regressiomallin tärkeimmät selittäjät ovat
tiesääasemilta määritettävät säätunnusluvut. Keskivirheen suhde toteutuneisiin kes-
kimääräisiin kustannuksiin (83 %) on suhteellisen korkea. Selitysaste on $R^2 = 64\%$.

Taulukko 6.8 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regres-
sioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

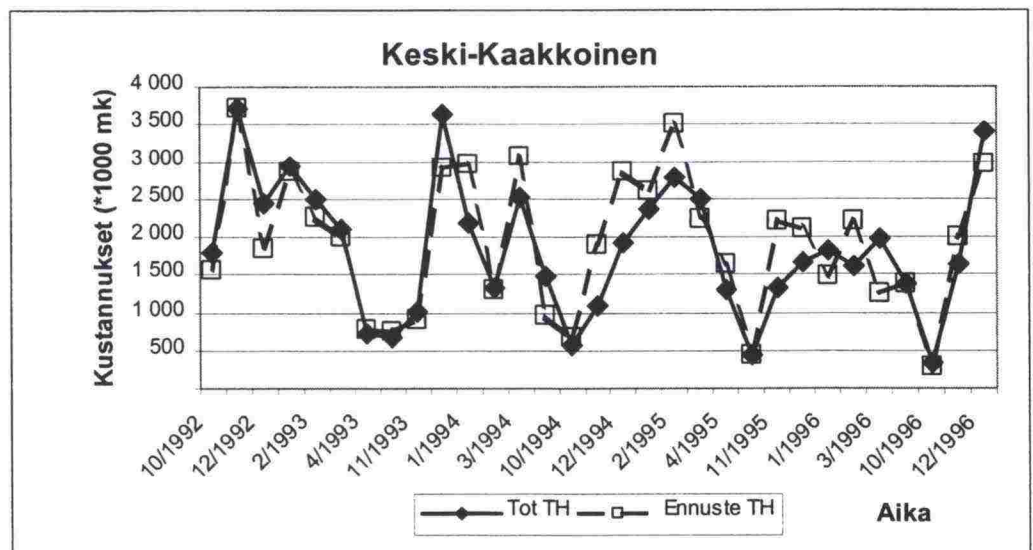
Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selitystasteen merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliuk- kaus ja suolaus (tie)	29,07	13450	8,597***	0,590	625441	$F = 379,2^{***}$ $N-1 = 263$
tlaalto	lämpöaalto (tie)	7,94	18979	3,709***	0,616	606685	$F = 210,3^{***}$ $N-2 = 262$
lausuo	lauhtumi- nen ja suolaus	1,49	64075	2,449*	0,633	594252	$F = 150,1^{***}$ $N-3 = 261$
kuurahie	kuuraliuk- kaus ja hiekoitus	0,92	60665	2,163*	0,640	590107 (83%)	$F = 115,3^{***}$ $N-4 = 260$
$KLT = 13450 * tkliusuo + 18979 * tlaalto + 64075 * lausuo + 60665 * kuurahie$							(6.8)

Ilmastoalueen liukkaudentorjuntakustannuksia tarkasteltaessa havaitaan, että en-
nustetut kustannukset poikkeavat toteutuneista kustannuksista erityisesti vuosina
1994 ja 1995 (kuva 6.9). Kyseisten vuosien toteutunut kustannustaso poikkeaa sel-
västi vuosien 1992 ja 1993 toteutuneesta kustannustasosta. Tällainen kustannustaso-
poikkeama on luultavasti aiheutunut vuosina 1994-1995 10-litteratasolle jaettujen
kustannustietojen vähäisyydestä.



Kuva 6.9 Liukkaudentorjuntakustannukset kuukausitasolla.

Ilmastoalueen talvihoitokustannuksissa näkyy selvästi liukkaudentorjuntakustannusten virheellinen vaikutus vuosina 1994-1995, jolloin ennustetut kustannukset ovat suurempia kuin toteutuneet (kuva 6.10). Muina laskentajakson vuosina ennustetut kustannukset seuraavat erittäin hyvin toteutuneita kustannuksia.



Kuva 6.10 Talvihoitokustannukset kuukausitasolla.

6.25 Ilmastoalueen Ala-Itäinen regressiomallit

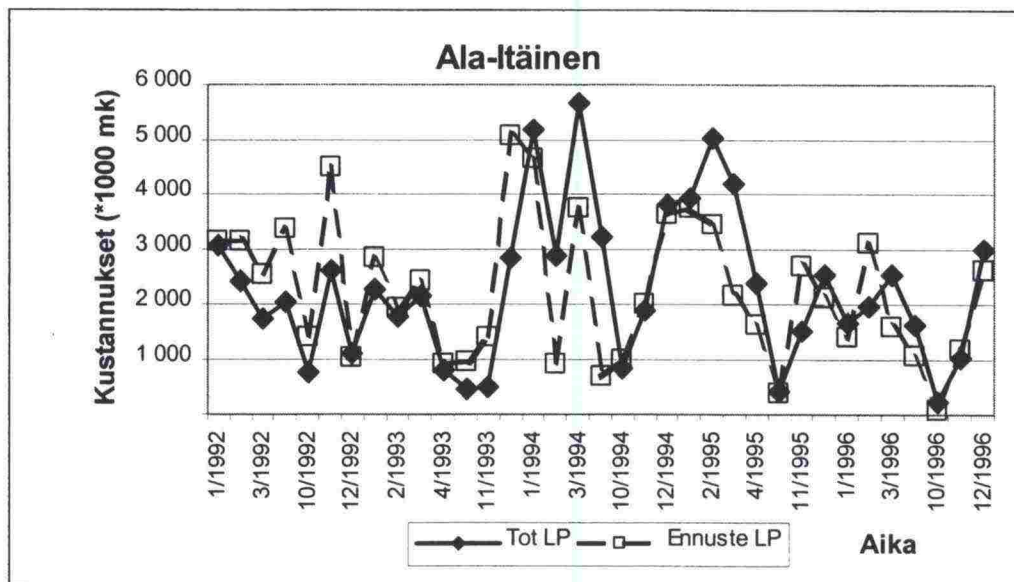
Ilmastoalueella Ala-Itäinen lumenpoistokustannuksia ennustavassa mallissa on mukana kahdesta eri säätunnusluvusta yhdistetty yksi säätunnusluku (taulukko 6.9). Molemmat säätunnusluvut olisivat tulleet mukaan malliin, mutta tällöin niiden keskinäinen korrelaatiokerroin olisi ollut liian korkea (noin 80 %). Koska molemmat

sääntunsluvut ovat loogisia ja odotusten mukaisia lumenpoistoa selittäviä tekijöitä, päätettiin suorittaa yhdistäminen ja näin molemmat tekijät saatiin mukaan malliin. Selitysaste on nyt lähes 70 %.

Taulukko 6.9 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnsluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selitystasteen merkitsevyys
lumsalus	lumsadsu + lusa	84,48	25452	14,288***	0,689	1699163 (75 %)	F = 204,1*** N-1 = 92
$KLP = 25452 * \text{lumsalus}$						(6.9)	

Ilmastoalueen ennustetut kustannukset seuraavat toteutuneiden kustannusten vaihtelujen suuntia erittäin hyvin, mutta kustannustasoissa esiintyy suuriakin poikkeamia esimerkiksi vuonna 1994 (kuva 6.11). Vuosien 1992 ja 1993 kustannustaso on nyt selvästi alhaisempi kuin vuosien 1994 ja 1995, mikä poikkeaa täysin muiden ilmastoalueiden, paitsi ilmastoalueen Keski-Kaakkoinen, trendistä.



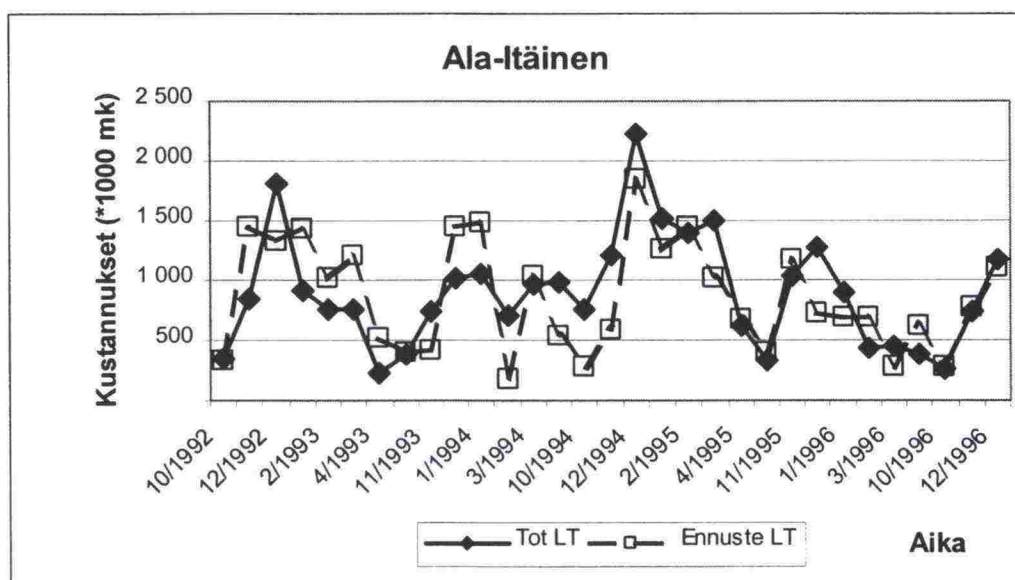
Kuva 6.11 Lumenpoistokustannukset kuukausitasolla.

Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen kehitetyssä mallissa on mukana kuuran ja mustan jään muodostuminen, lämpöaalto ja lumisade sääntunsluvut (taulukko 6.10). Kuuran ja mustan jään muodostuminen -sääntunsluku on tilastollisesti erittäin merkitsevä t-testillä tulkittuna, lämpöaalto on tilastollisesti merkitsevä ja lumisade tilastollisesti melkein merkitsevä. Mallin selitysaste on 68 %. Keskivirheen suhteellinen arvo on 75 %, joka on melko suuri. Selitysaste ja keskivirhe ovat jokseenkin samansuuruiset kuin lumenpoiston mallissa.

Taulukko 6.10 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

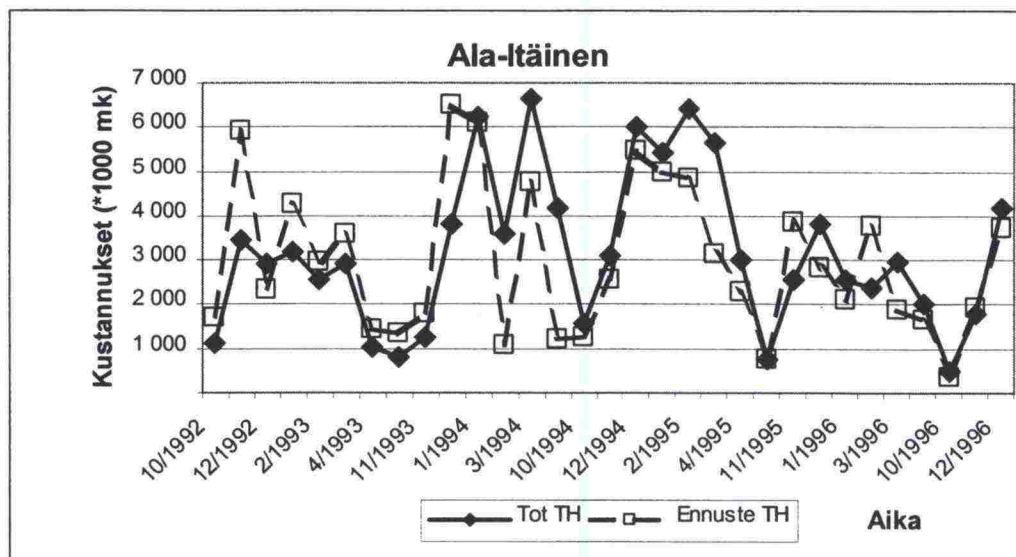
Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R ²	Keski- virhe	Selitystason merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliuk- kaus ja suolaus (tie)	27,02	12293	3,350***	0,603	742849	F = 139,6*** N-1 = 92
tlaalto	lämpöaalto (tie)	8,03	30758	2,960**	0,658	692882	F = 87,61*** N-2 = 91
lusa	lumisade	48,09	5766	2,490*	0,680	673890 (75%)	F = 63,81*** N-3 = 90
$KLT = 12293 * tkliusuo + 30758 * tlaalto + 5766 * lusa$							(6.10)

Ilmastoalueen liukkaudentorjuntakustannuksia tarkasteltaessa havaitaan, että ennustettujen kustannusten vaihtelut ovat samansuuntaisia kuin toteutuneiden kustannusten vaihtelut (kuva 6.12). Vuosina 1994 ja 1995 toteutuneet liukkaudentorjuntakustannukset ovat suuremmat kuin vuosina 1992 ja 1993, mikä poikkeaa muiden ilmastoalueiden trendistä.



Kuva 6.12 Liukkaudentorjuntakustannukset kuukausitasolla.

Ilmastoalueen talvihoitokustannukset noudattavat samaa trendiä kuin lumenpoisto- ja liukkaudentorjuntakustannukset (kuva 6.13) eli laskentajakson alussa (v. 1992-1993) kustannukset ovat pienemmät kuin jakson keskellä (v. 1994-1995). Vuonna 1994 toteutuneet kustannukset vaihtelevat paljon peräkkäisinä kuukausina ja ennustetut kustannukset seuraavat vaihteluiden suuntia erittäin hyvin, mutta vain pienimpinä kustannuksina. Laskentajakson lopussa kustannuspoikkeamat pienenevät.



Kuva 6.13 Talvihoitokustannukset kuukausitasolla.

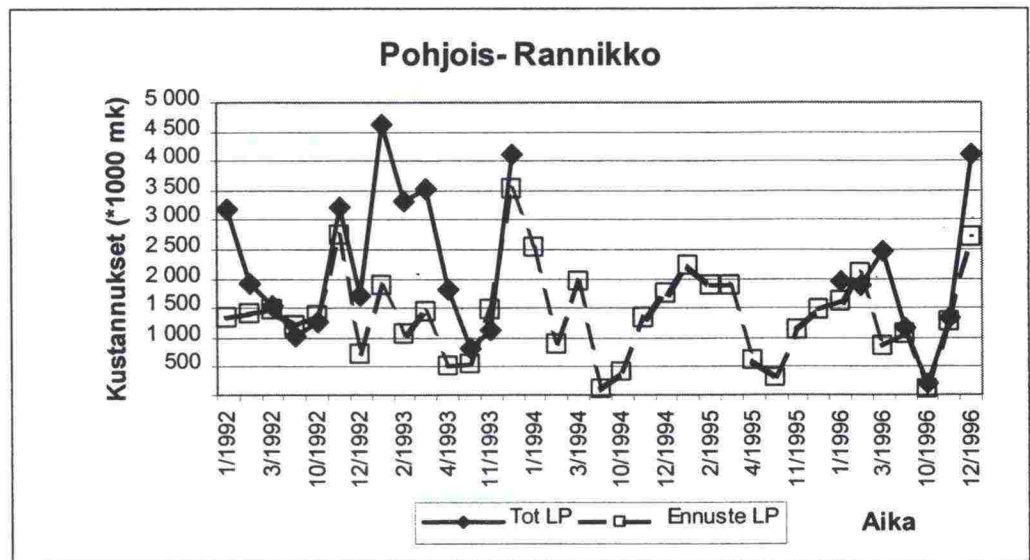
6.26 Ilmastoalueen Pohjois-Rannikko regressiomallit

Pohjois-Rannikon lumenpoistokustannuksia ennustavassa mallissa on mukana pelkästään lumisateen esiintymiskertoja kuvaava säätunnusluku. Mallin selityssaste on siitä huolimatta 61 %. Keskivirheen suhteellinen arvo on 88 %.

Taulukko 6.11 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnushluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selityssaste R^2	Keskivirhe	Selityssasteen merkitsevyys
lusa	lumisade	33,76	41996	11,830***	0,611	1341292 (88 %)	F = 139,9*** N-1 = 89
$KLP = 41996 * lusa$						(6.11)	

Ilmastoalueen toteutuneet lumenpoistokustannukset ovat suurimmillaan laskentajakson alussa vuosina 1992-1993 (kuva 6.14). Tuolloin ennustettujen kustannusten poikkeamat toteutuneista kustannuksista ovat suurimmillaan. Vuosien 1994-1995 toteutuneet kustannukset ovat selvästi eri tasoa kuin muiden tarkastelujakson vuosien kustannukset. Tämä selittyy noina vuosina 10-litteroille jaettujen kustannusten puutteellisuudella.



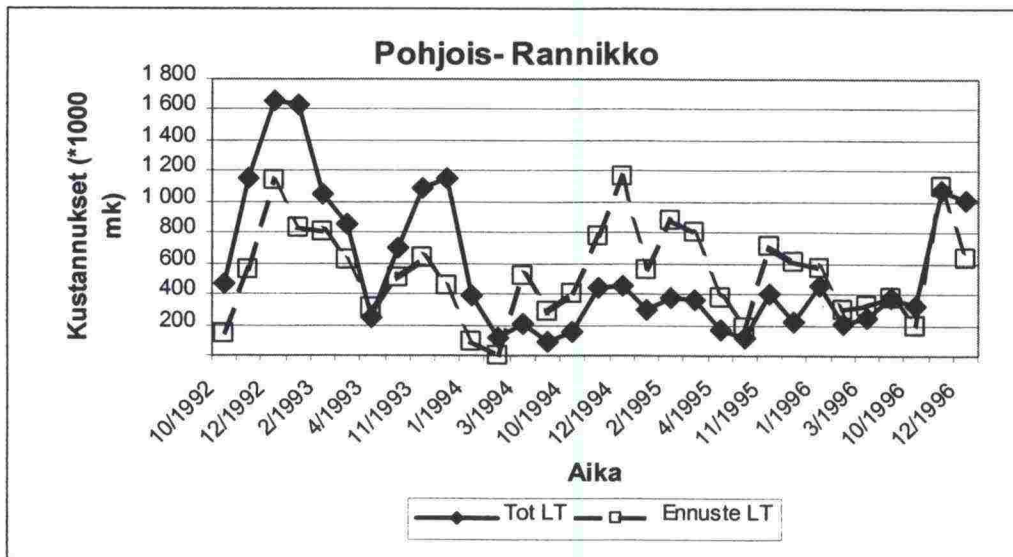
Kuva 6.14 Lumenpoistokustannukset kuukausitasolla.

Liukkaudentorjuntakustannuksia ennustavassa regressiomallissa tärkein muuttuja on kuuran ja mustan jään muodostuminen (taulukko 6.12). Lisäksi mallissa on mukana jäätympisteiden alitus. Mallin selityssaste on vain 57 % ja tämä näkyy keskivirheen suhteellisen arvon suuruudessa (96 %).

Taulukko 6.12 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

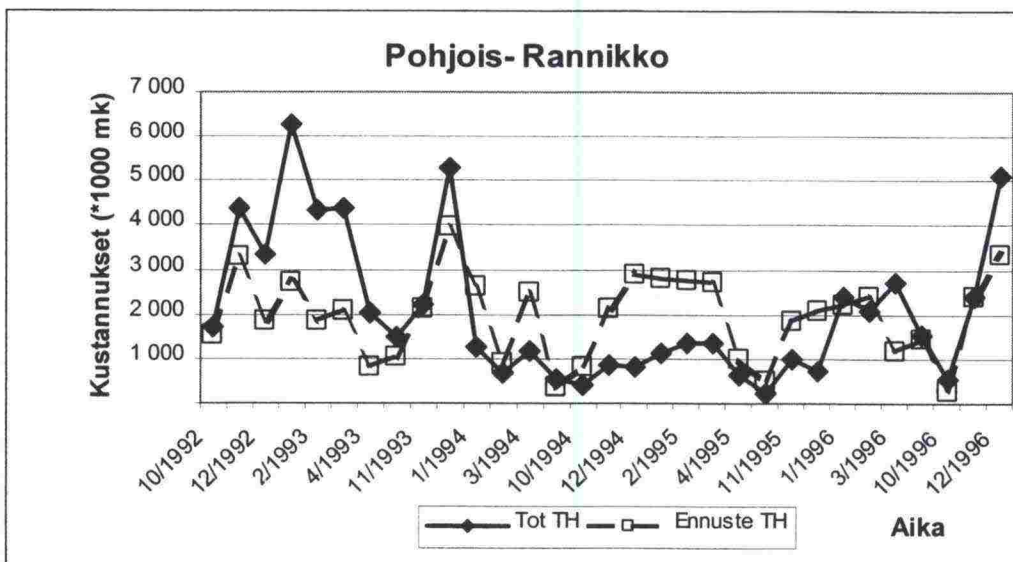
Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selityssaste R^2	Keskivirhe	Selityssasteen merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliukka- kaus ja suolaus (tie)	30,72	13702	6,665***	0,551	572435	$F = 105,6***$ $N-1 = 86$
jaatpal	jäätympisteiden alitus	9,14	15235	2,056*	0,572	561981 (96%)	$F = 56,89***$ $N-2 = 85$
$KLT = 13702 * tkliusuo + 15235 * jaatpal$							(6.12)

Ilmastoalueen ennustetut ja toteutuneet liukkaudentorjuntakustannukset käyttäytyvät samalla tavoin kuin vastaavat lumenpoistokustannukset (kuva 6.15). Vuonna 1996 ennustetut ja toteutuneet kustannukset ovat lähempänä toisiaan kuin laskentajakson muina vuosina. Suurimmat poikkeamat ennustettujen ja toteutuneiden kustannusten välillä ajoittuvat vuosille 1992-1994.



Kuva 6.15 Liukkaudentorjuntakustannukset kuukausitasolla.

Pohjois-Rannikon talvihoitokustannukset toimivat samoin kuin edellä lumenpoisto- ja liukkaudentorjuntakustannukset (kuva 6.16). Ennustetut kustannukset ovat lähimpänä toteutuneita vuonna 1996. Suurimmat poikkeamat ovat vuosina 1993 ja 1994.



Kuva 6.16 Talvihoitokustannukset kuukausitasolla.

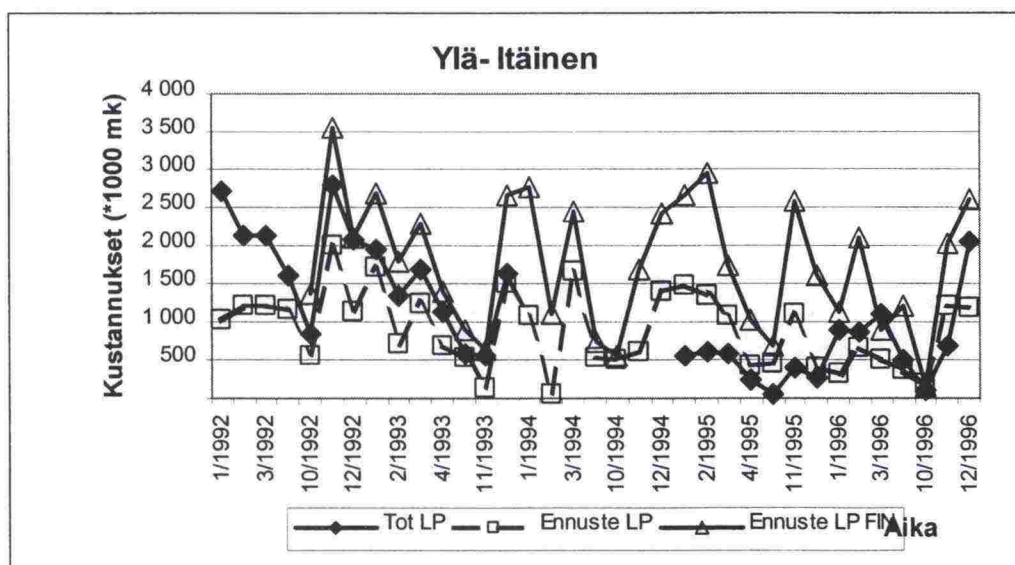
6.27 Ilmastoalueen Ylä-Itäinen regressiomallit

Lumenpoistokustannuksia ennustavassa mallissa on mukana kaksi lumisadetta kuvaava sääennusteluku ja yksi lumen ajautumista kuvaava sääennusteluku (taulukko 6.13). Kahdentoista tunnin sademäärä yli 2 mm, lumen ajautuminen ja suojalumisaade selittävät yhdessä 64 % lumenpoistokustannusten vaihteluista. Keskvirheen suhteellinen arvo on melko suuri (89 %).

Taulukko 6.13 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R ²	Keskivirhe	Selitysasteen merkitsevyys
sade2	12 tunnin sademäärä >2 mm	5,79	61344	2,538*	0,599	808820	F = 186,7*** N-1 = 125
lumaja	lumen ajautuminen	8,37	24021	3,022**	0,622	788731	F = 101,9*** N-2 = 124
suolumsad	suojalumi-sade	3,26	99762	2,751**	0,644	768641 (82 %)	F = 74,06*** N-3 = 123
$KLP = 61344*sade2 + 24021*lumaja + 99762*suolumsad$							(6.13)

Ilmastoalueen toteutuneet lumenpoistokustannukset ovat suurimmillaan vuosina 1992-1993 (kuva 6.17). Ilmastoalueen mallilla ennustetut kustannukset ovat vuonna 1993 hiukan alemmat kuin toteutuneet kustannukset. Koko Suomen mallilla (Ennuste LP FIN) ennustetut kustannukset ovat selvästi suuremmat kuin toteutuneet tai ilmastoalueen mallilla ennustetut kustannukset. Vuoden 1994 toteutuneet kustannukset on poistettu tarkastelusta puutteellisten tietojen vuoksi. Vuoden 1995 tiedot ovat myös puutteellisia, mikä havaitaan suurena poikkeamana ennustettujen ja toteutuneiden kustannusten välillä.



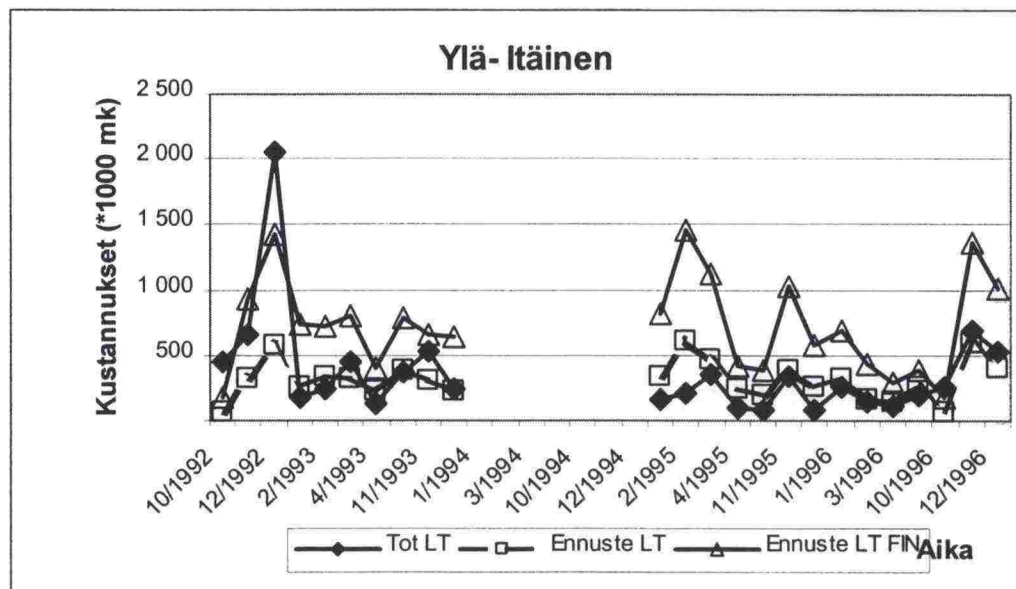
Kuva 6.17 Lumenpoistokustannukset kuukausitasolla.

Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseksi kehitetyssä mallissa on mukana kuuran ja mustan jään muodostuminen ja jäätymispisteen alitus (taulukko 6.14). Molemmat säätunnusluvut ovat vähintään tilastollisesti merkitseviä. Selitysaste on 59,5 % ja keskivirheen absoluuttinen arvo pieni, mutta suhteellinen arvo on suuri (88 %).

Taulukko 6.14 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

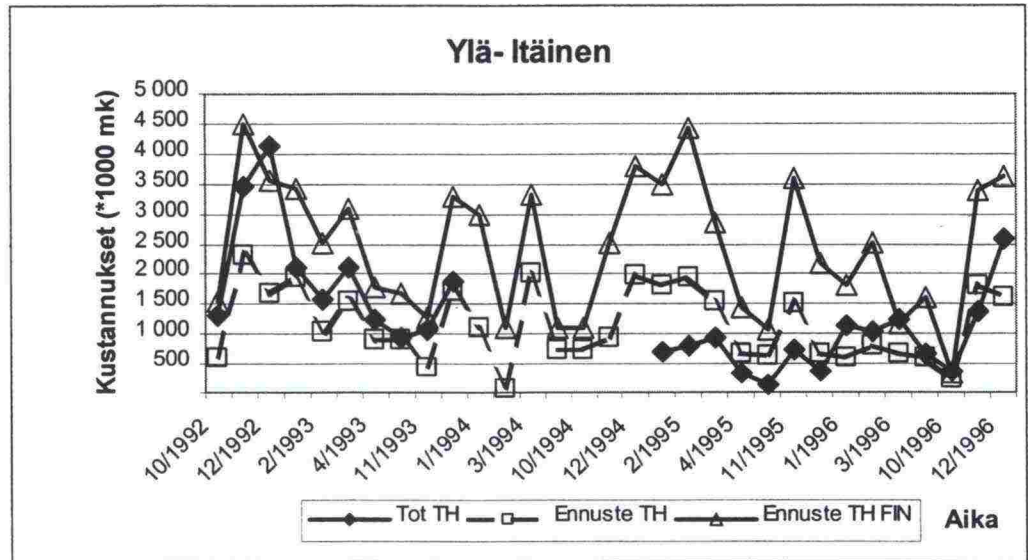
Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selitysasteen merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliukka- kaus ja suolaus (tie)	25,04	9458	9,594***	0,562	294361	F = 150,1*** N-1 = 117
tjaatpal	jääty- mispiste- en alitus (tie)	4,54	14621	3,066**	0,595	284333 (88 %)	F = 85,13*** N-2 = 116
$KLT = 9458 * tkliusuo + 14621 * tjaatpal$							(6.14)

Ennustetut liukkaudentorjuntakustannukset seuraavat toteutuneiden liukkaudentorjuntakustannusten muutoksia melko hyvin (kuva 6.18). Suurimmat poikkeamat havaitaan loppuvuodesta 1992. Vuoden 1994 tiedot puuttuivat tarkastelusta kokonaan, joten kyseisen vuoden kustannuksia ei ole esitetty kuvassa. Koko maan mallilla ennustetut kustannukset ovat selvästi korkeammalla tasolla kuin toteutuneet ja ilmastoalueen mallilla ennustetut kustannukset.



Kuva 6.18 Liukkaudentorjuntakustannukset kuukausitasolla.

Ilmastoalueen toteutuneet ja ennustetut talvihoitokustannukset ovat lähimpänä toisiinsa vuosina 1993 ja 1996 (Kuva 6.19). Ilmastoalueen malli toimii huomattavasti paremmin kuin koko maan malli koko tarkastelujaksolla.



Kuva 6.19 Talvihoitokustannukset kuukausitasolla.

6.28 Ilmastoalueen Lappi regressiomallit

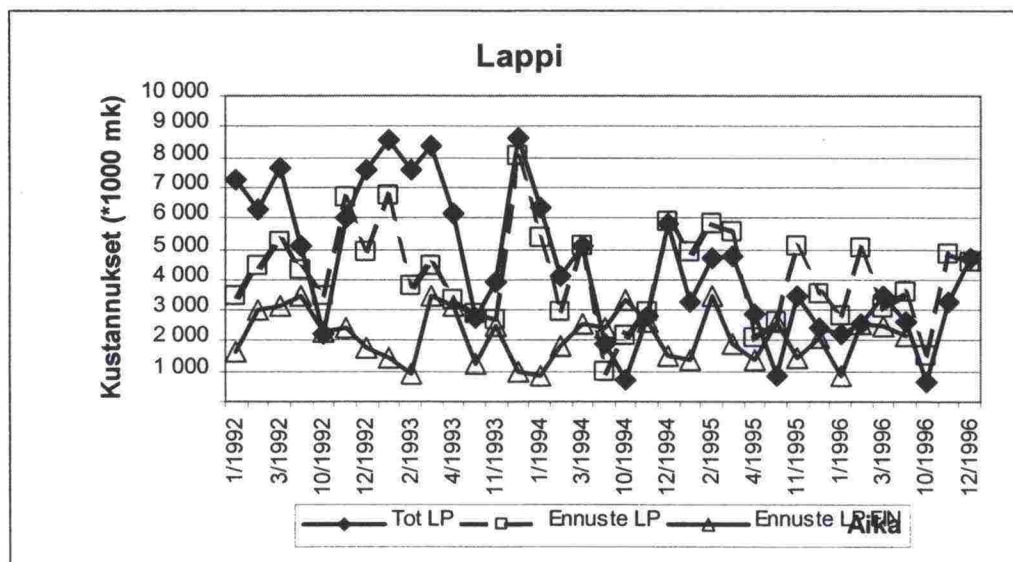
Lumenpoistokustannusten ennustamiseen kehitetyssä mallissa on mukana useita lumenpoistoa kuvaavia säätunnuslukuja (taulukko 6.15). Ensimmäinen säätunnusluku (lusade2) on yhdistetty kahdesta säätunnusluvusta, jotka olisivat olleet mallissa erikseen ja niiden keskinäinen voimakas korrelaatio olisi heikentänyt toisen tärkeän säätunnusluvun selityskykyä. Lapin olosuhteille tunnusomainen lumen ajautuminen on myös mukana mallissa. Mallin selitysaste on korkea (78 %) ja keskivirheen suhteellinen arvo on 57 %.

Taulukko 6.15 Lumenpoistokustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selitysasteen merkitsevyys
lusade2	lusa + sade2	49,22	37515	3,965***	0,753	2537093	F = 563,2*** N-1 = 185
kkkalamp	kuukauden keskilämpötila	-7,05	-117388	-3,001**	0,764	2485279	F = 297,9*** N-2 = 184
suolumsad	suojalumi-sade	2,89	298346	3,174**	0,773	2445950	F = 207,3*** N-3 = 183
lumaja	lumen ajautuminen	14,41	39536	2,531*	0,780	2410592 (57 %)	F = 161,7*** N-4 = 182
$KLP = 37515 * lusade2 - 117388 * kkkalamp + 298346 * suolumsad + 39536 * lumaja$							(6.15)

Lapin ennustetut ja toteutuneet lumenpoistokustannukset ovat lähimpänä toisiaan vuonna 1994 (kuva 6.20). Suurimmat poikkeamat toteutuneiden ja ilmastoalueen mallilla ennustettujen kustannusten välillä havaitaan vuonna 1993. Ilmastoalueen

mallilla ennustetut kustannukset seuraavat kuitenkin kohtuullisen hyvin kuukausittaisten muutosten suuntia, joskaan eivät aina aivan samansuuruisina. Koko maan malli ei reagoi oikean suuntaisesti juuri ollenkaan.



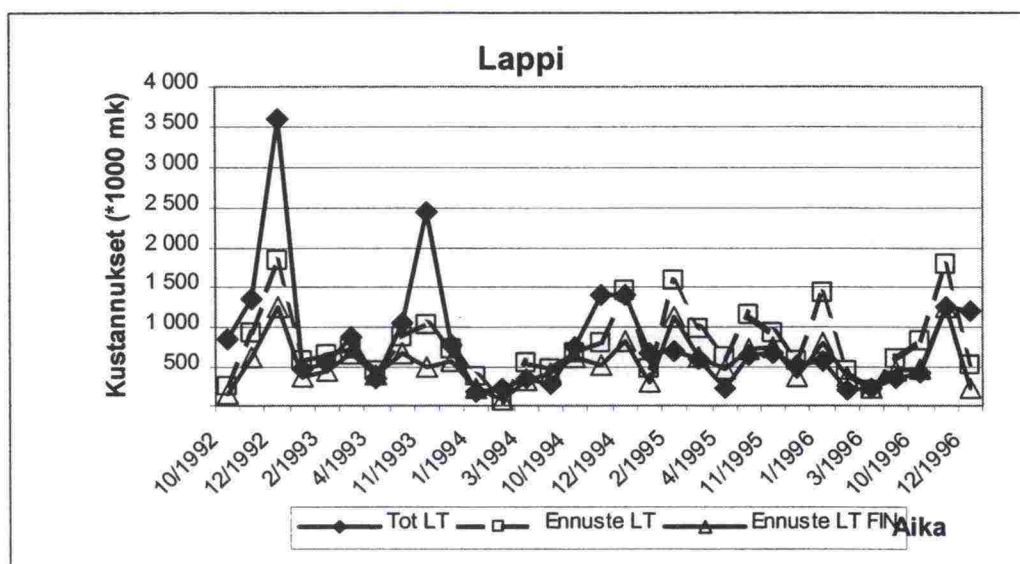
Kuva 6.20 Lumenpoistokustannukset kuukausitasolla.

Ilmastoalueen liukkaudentorjuntakustannuksia ennustetaan mallilla, jossa tärkein säätunnusluku on kuuran ja mustan jään muodostuminen, joka on tilastollisesti erittäin merkitsevä (taulukko 6.16). Muut mallissa olevat säätunnusluvut ovat tilastollisesti melkein merkitseviä. Mallin selitysaste on 64,7 % ja keskivirheen suhteellinen arvo 85 %.

Taulukko 6.16 Liukkaudentorjuntakustannusten ennustamiseen käytettävän regressioyhtälön kertoimet ja tunnusluvut.

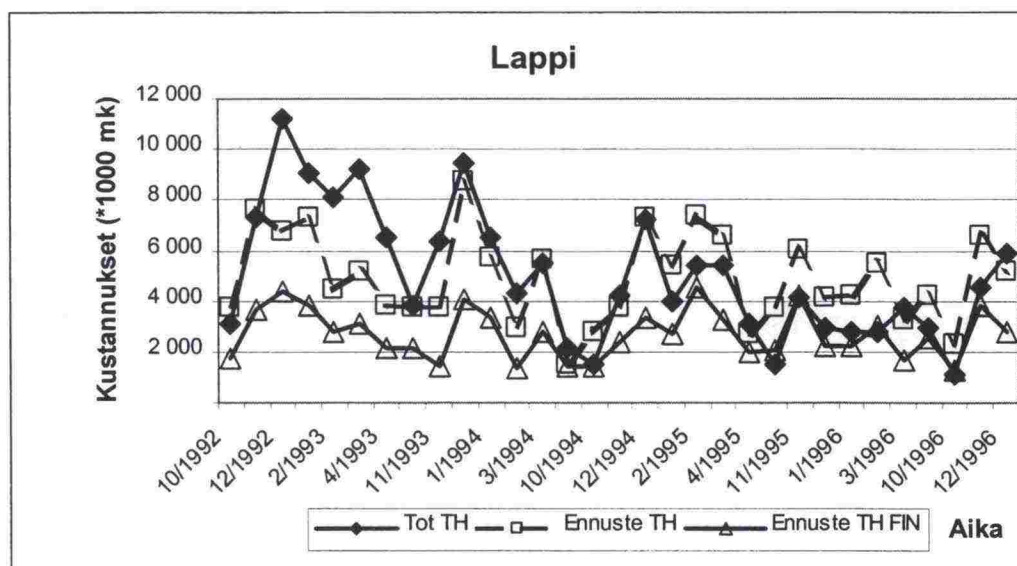
Muuttuja	Määritelmä	Muuttujan keskiarvo	Kerroin	t-arvo	Selitysaste R^2	Keskivirhe	Selityksasteen merkitsevyys
tkliusuo	kuuraliukka- kaus ja suolaus (tie)	17,44	25427	6,040***	0,612	717825	F = 291,7*** N-1 = 185
tlaalto	lämpöaalto (tie)	6,75	20606	2,134*	0,629	703387	F = 156,2*** N-2 = 184
jäätsad	jäätävä sade	1,99	40283	2,262*	0,639	696330	F = 107,9*** N-3 = 183
suolumsad	suojalumi- sade	2,90	45848	2,027*	0,647	690488 (85 %)	F = 83,30*** N-4 = 182
$KLT = 25427*tkliusuo + 20606*tlaalto + 40283*jäätsad + 45848*suolumsad$							(6.16)

Ilmastoalueen toteutuneet ja ennustetut liukkaudentorjuntakustannukset poikkeavat toisistaan eniten vuonna 1992 (kuva 6.21). Vuonna 1994 ja 1996 kyseiset kustannukset ovat lähimpänä toisiaan. Koko maan malli toimii erityisen hyvin vuosina 1994-1996.



Kuva 6.21 Liukkaudentorjuntakustannukset kuukausitasolla.

Ilmastoalueen malleilla ennustettujen ja toteutuneiden talvihoitokustannusten muutokset ovat samansuuntaisia koko tarkasteluajanjaksolla (kuva 6.22). Vuosina 1992-1994 ilmastoalueen malli toimii paremmin kuin koko maan malli, kuitenkin siten, että vuonna 1993 havaitaan suurimmat erot ennustettujen ja toteutuneiden kustannusten välillä. Vuosina 1995 ja 1996 koko maan malli ennustaa kustannuksia paremmin kuin ilmastoalueen oma malli.



Kuva 6.22 Talvihoitokustannukset kuukausitasolla.

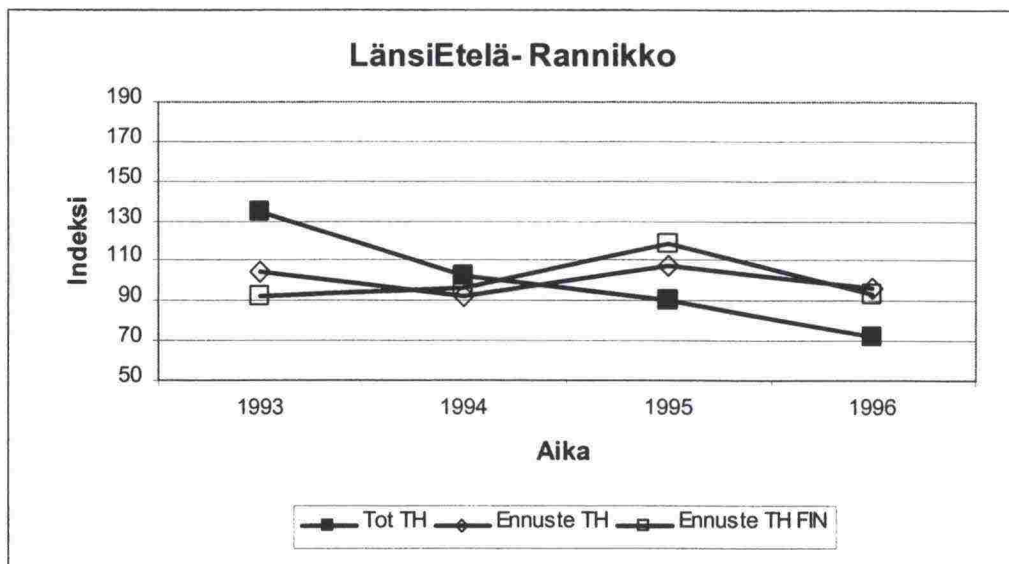
6.3 Ilmastoalueiden talvi-indeksien arvot

Ilmastoalueiden talvi-indeksin arvo saadaan laskemalla ilmastoalueen keskimääräiset talvihoitokustannukset yhteen vuosittain ja nämä kustannukset jaetaan tarkastelujakson vuositason kustannusten keskiarvolla (taulukko 6.17) ja kerrotaan sadalla, jolloin indeksin arvo ilmoitetaan prosentteina. Tällöin keskimääräistä talvea edustaa prosenttiarvo 100 %.

Taulukko 6.17 Ilmastoalueiden ennustettujen talvihoitokustannusten tiemestari-kohtainen vuosikeskiarvo (1 000 mk).*

Keskiarvo	LänsiEtelä-Rannikko	Lounainen	Keski-Kaakkoinen	Ala-Itäinen	Pohjois-Rannikko	Ylä-Itäinen	Lappi
Talvihoito	18 274	16 982	12 020	20 632	13 415	7 794	34 094
Lumenpoisto	10 405	9 785	8 398	14 773	9 660	5 751	28 069
Liukkaudentorjunta	7 869	7 214	4 710	5 858	3 754	1 607	5 412

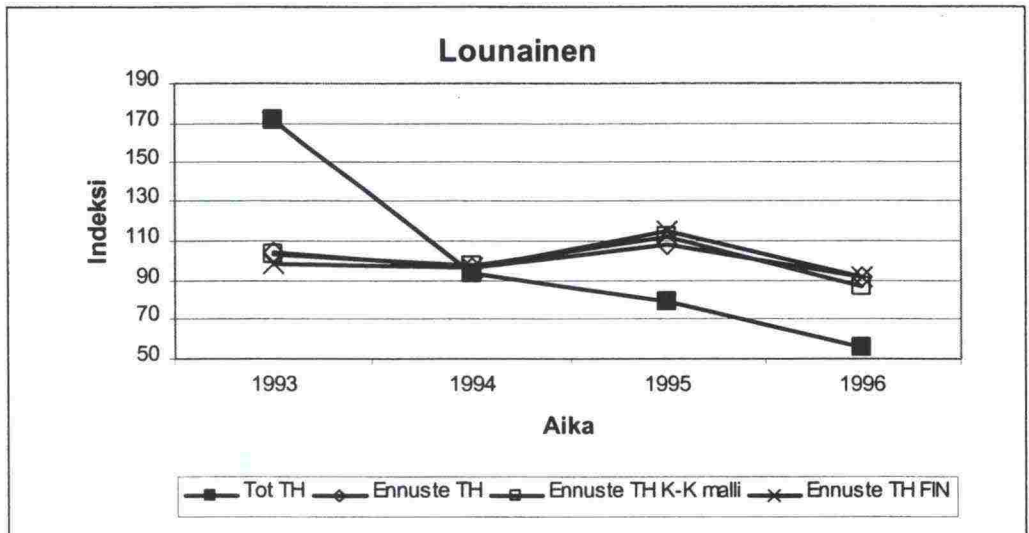
LänsiEtelä-Rannikon malli seuraa toteutuneen talvi-indeksin muutoksia vaimeasti, mutta muutokset tapahtuvat pääosin samansuuntaisesti (kuva 6.23). Toteutuneen talvi-indeksin arvon trendinomainen putoaminen tarkastelujaksolla on huomionarvoinen seikka, joka tapahtuu lähes kaikilla ilmastoalueilla paria poikkeusta lukuun ottamatta. Koko maan malli toimii indeksinä hiukan huonommin kuin ilmastoalueen malli tarkasteluvuosina.



Kuva 6.23 Talvihoitoindeksi ilmastoalueella LänsiEtelä-Rannikko.

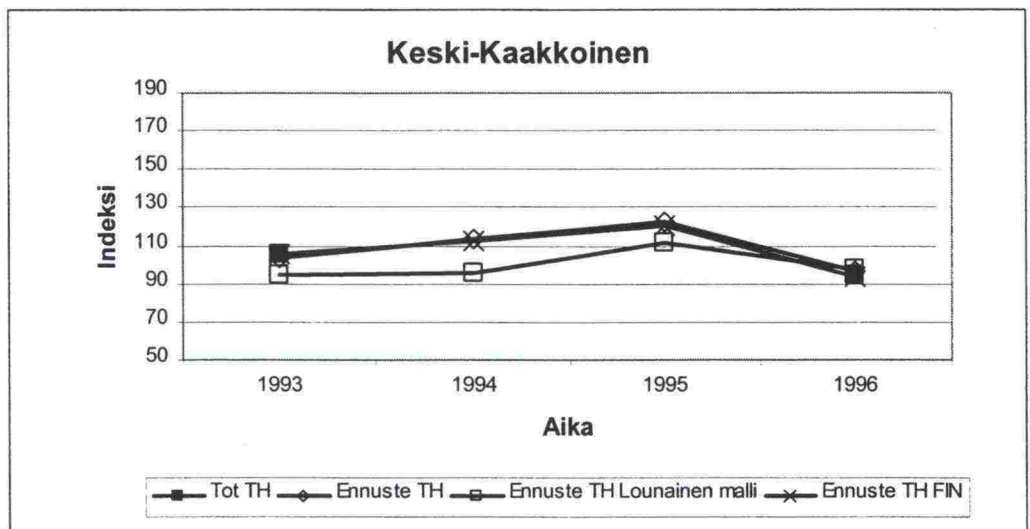
Ilmastoalueen Lounainen toteutuneen talvi-indeksin arvot (kuva 6.24) vaihtelevat enemmän kuin LänsiEtelä-Rannikon toteutuneen talvi-indeksin arvot. Vuoden 1993 mallin mukaisen ennusteen suuri poikkeama vastaavasta toteutuneesta aiheutuu sekä liukkaudentorjunta- että lumenpoistokustannusten suurista samansuuntaisista poikkeamista kyseisenä vuonna. Ilmastoalueilla LänsiEtelä-Rannikko ja Lounainen liukkaudentorjuntakustannusten painoarvot ovat suurin piirtein samansuuruiset lumen-

poistokustannusten kanssa. Kokeiltaessa naapuri ilmastoalueen Keski-Kaakkoinen mallia ilmastoalueen Lounainen dataan, havaitaan mallien toimivan indeksinä täysin samalla tavoin. Myös koko maan malli toimii samoin kuin ilmastoalueen oma ja naapuri ilmastoalueen malli.



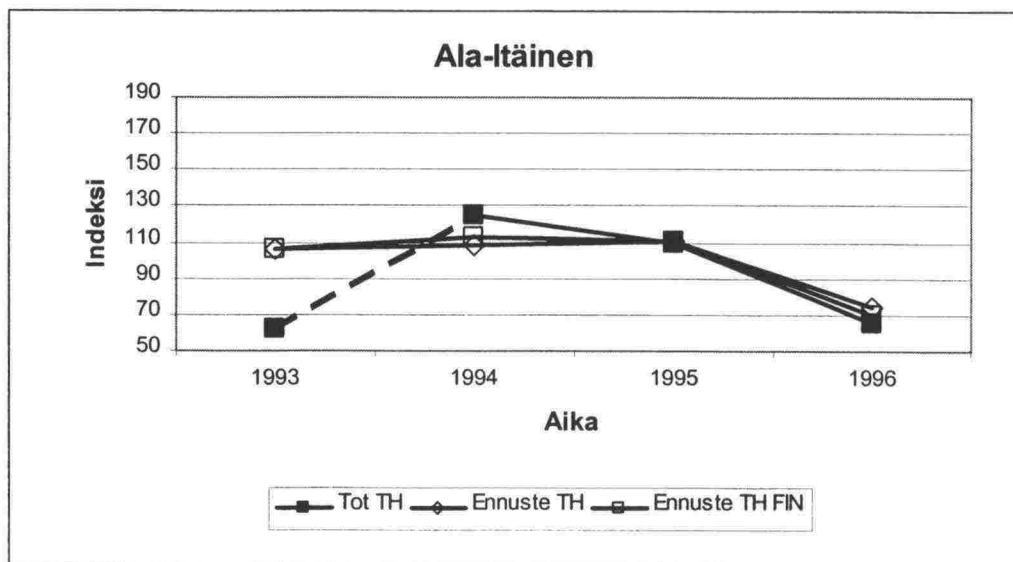
Kuva 6.24 Talvihoitoindeksi ilmastoalueella Lounainen.

Ilmastoalueen Keski-Kaakkoinen talvi-indeksitarkasteluun on otettu toteutuneen indeksin osalta vain kaksi vuotta, koska vuosina 1994 ja 1995 kustannuspuutteet ovat suurimmat ja kustannustiedot epäluotettavimpia (liite 3). Vuosina 1993 ja 1996 ennustettu talvi-indeksi ennustaa toteutuneen indeksin arvon lähes virheettömästi (kuva 6.25). Kun kokeillaan naapuri ilmastoalueen Lounainen mallia ilmastoalueelle Keski-Kaakkoinen, havaitaan Lounaisen mallin toimivan lähes samoin kuin ilmastoalueen oman mallin. Koko maan malli toimii indeksinä täysin samoin kuin itse ilmastoalueen malli.



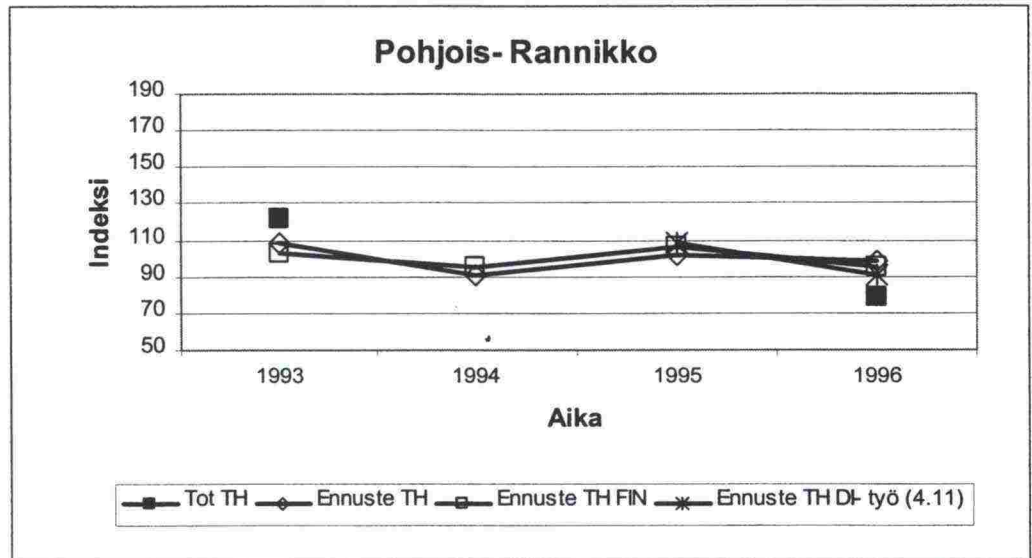
Kuva 6.25 Talvihoitoindeksi ilmastoalueella Keski-Kaakkoinen.

Ilmastoalueella Ala-Itäinen ennustetun indeksin arvot lähenevät toteutuneen indeksin arvoja tarkastelujakson loppua lähestyttäessä (kuva 6.26). Vuoden 1993 toteutuneen indeksin arvo herättää epäilyksiä sen oikeellisuudesta, koska muilla ilmastoalueilla trendi on ollut laskeva koko tarkastelujaksolla. Ennustetun indeksin lähes samat arvot kolmena peräkkäisenä vuotena ovat hiukan erikoisia, mutta vuonna 1996 ennustettu indeksi kuitenkin reagoi voimakkaasti samansuuruisesti kuin toteutunut indeksi. Tämä osoittaa sen, että ennustettu indeksi reagoi myös suuriin muutoksiin. Taas havaitaan, että koko maan malli toimii indeksinä lähes täysin samoin kuin itse ilmastoalueen malli.



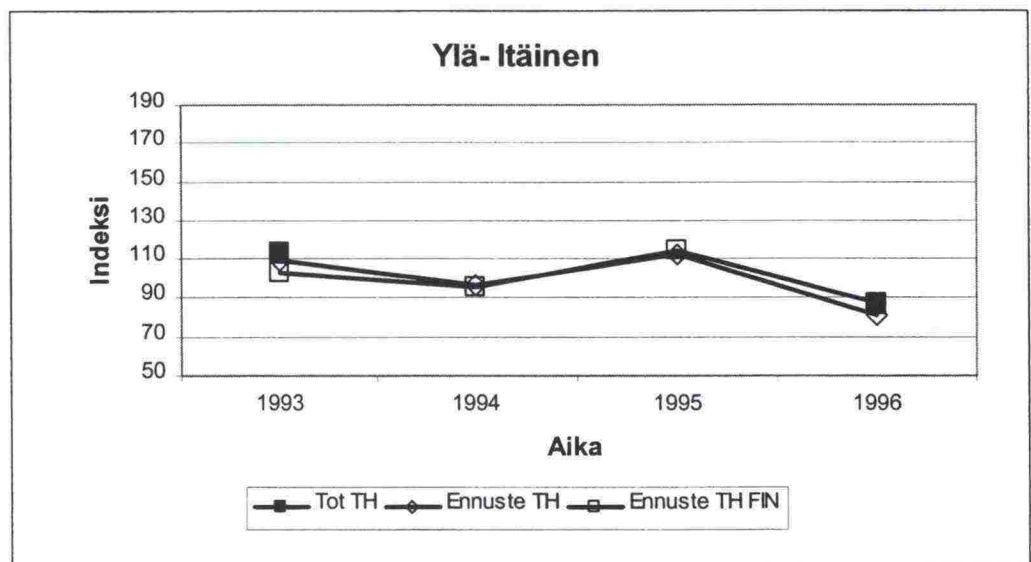
Kuva 6.26 Talvihoitoindeksi ilmastoalueella Ala-Itäinen.

Pohjois-Rannikon toteutuneesta indeksistä on poistettu vuodet 1994-1995 samasta syystä kuin ilmastoalueen Keski-Kaakkoinen mallista. Kahden pisteen perusteella näyttää siltä, että ennustettu indeksi osoittaisi vaimeasti toteutuneen indeksin vaihteluiden suunnan (kuva 6.27). Koko maan malli (Ennuste TH FIN) näyttää toimivan samoin kuin ilmastoalueen oma malli. Laineen (1998) diplomityössä kehittämä Lapin tiepiirin rannikkoalueen malli (kaava 4.11) toimii indeksinä lähes samoin kuin muut alueen mallit. Diplomityössä kehitetyn mallin arvoja ei ole laskettu ilmastoalueen Pohjois-Rannikon datalla, vaan mallin arvot on otettu Lapin tiepiirin rannikkoalueen arvoista. Indeksien toimimista voidaan kommentoida tarkemmin vasta sitten, kun on saatu enemmän tarkastelupisteitä.



Kuva 6.27 Talvihoitoindeksi ilmastoalueella Pohjois-Rannikko.

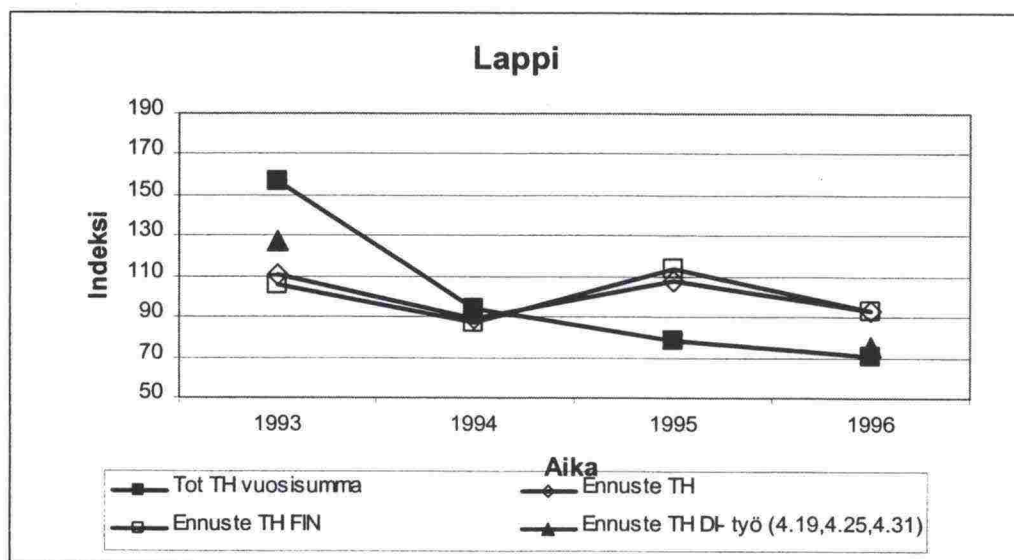
Ilmastoalueella Ylä-Itäinen joudutaan turvautumaan myös kahteen tarkastelupisteeseen samasta syystä kuin edellä. Näiden kahden pisteen perusteella näyttäisi siltä, että ennustettu indeksi toimii hyvin juuri näissä pisteissä (kuva 6.28). Koko maan mallilla ennustettu indeksi toimii lähes samoin kuin ilmastoalueen malli, joten näiden keskinäistä paremmuutta on vaikea todeta.



Kuva 6.28 Talvihoitoindeksi ilmastoalueella Ylä-Itäinen.

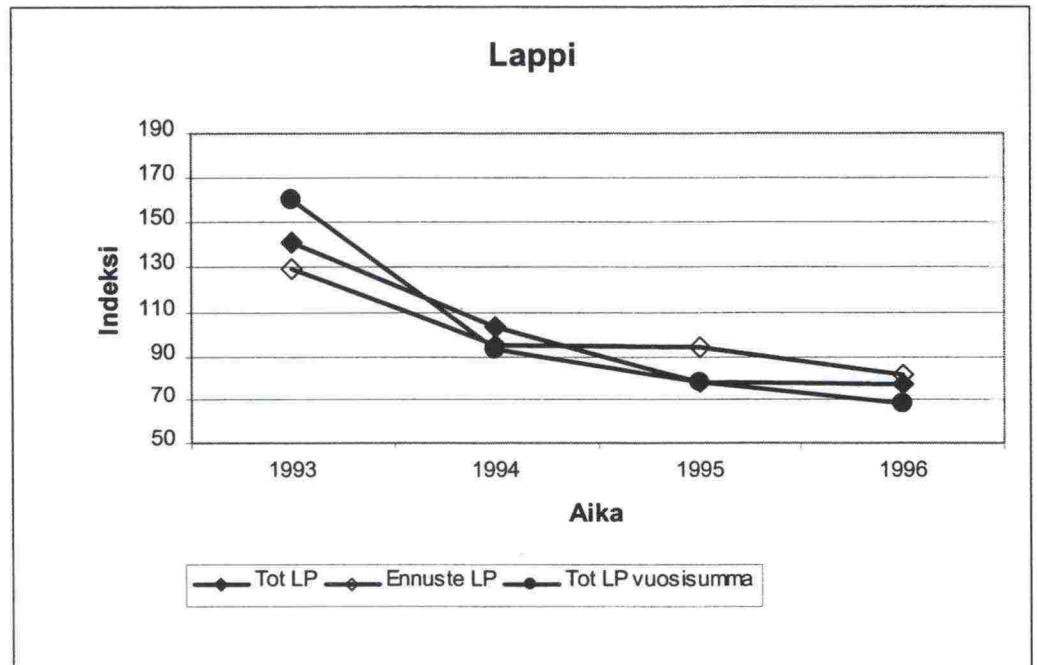
Lapissa koko maan malli toimii samoin kuin Lapin oma malli (kuva 6.29). Kummatkaan mallit eivät ennusta esimerkiksi vuoden 1993 indeksin suurta arvoa, mutta indeksin arvon muutoksen suunta osuu oikeaan kahdessa muutoksessa kolmesta. Ongelmaksi vuositason tarkastelussa muodostuu useiden kuukausiarvojen suurten samansuuntaisten poikkeamien yhdistyminen vuositasolla suureksi poikkeamaksi, joka näkyy myös prosenttiarvoina. Laineen (1998) diplomityössä kehitetyillä malleilla ennustettu indeksi (Ennuste TH DI-työ) toimii paremmin kuin tässä työssä

kehitetty kaavat. Kyseisen mallin arvot on laskettu diplomityössä käytetyllä datalla, mutta indeksinä niitä voidaan soveltaa suoraan ilmastoalueen arvoiksi.



Kuva 6.29 Talvihoitoindeksi ilmastoalueella Lappi.

Vuositason summasta muodostettavaan indeksiin voitaisiin kehittää vaihtoehto jostakin yksittäisestä jakaumaa kuvaavasta arvosta esimerkiksi vuosittaisista maksimi-arvoista. Ilmastoalueella Lappi lumenpoistokustannukset ovat selvästi suuremmat kuin liukkaudentorjuntakustannukset, joten on perusteltua käyttää lumenpoistokustannusten vuosittaisista kuukausimaksimi-arvoista laskettavaa indeksiä esimerkkinä (kuva 6.30). Ennustetun indeksin arvo kohoaa 130 %:iin vuonna 1993 ja samanaikaisesti toteutuneen maksimi-indeksin arvo on noin 140 %, joten parannusta indeksin arvossa on tapahtunut huomattavasti summaindeksiin verrattuna. Lisäksi lumenpoiston toteutunut summaindeksi toimii lähes samoin kuin vastaava maksimi-indeksi. Toisaalta Laineen (1998) diplomityössä kehittämä summaindeksi (kuva 6.29) näyttää toimivan lähes yhtä hyvin kuin vuosittaisista maksimi-arvoista muodostettava indeksi vuosina 1993 ja 1996.



Kuva 6.30 Lumenpoiston vuosiarvojen maksimeista muodostettu talvi-indeksi ilmastoalueella Lappi.

7 REGRESSIOMALLIEN KÄYTTÖ ALUEELLISTEN TALVIHOITOTARPEIDEN ARVIOINNISSA

7.1 Valtakunnallisten talvihoitotarpeiden arviointi

Edellä esitetyt talvihoidon kustannusten ennustemallit perustuvat alueellisilla tauskertoimilla korjattuihin kustannuksiin. Toisin sanoen on korjattu tiemestaripiiri-en talvihoitoluokittaisen tieverkon erilaisuudesta aiheutuvat kustannuserot. Tämä merkitsee, että alueelliset ennustemallit edustavat periaatteessa tilannetta, jossa tieverkko olisi samanlainen kaikissa tiemestaripiireissä ja tätä kautta myös koko ilmastoalueella. Näin ollen ennustemalleilla saatujen alueellisten kustannusten erot johtuvat periaatteessa vain ilmastollisten tekijöiden eli säätunnuslukukertymien eroista. Ennustemalleilla saatuja alueellisia kustannuksia voidaan täten käyttää ilmastollisista eroista aiheutuvien talvihoitotarpeiden arvioinnin perustana. Suhteellisia arvoina esitettyinä ovat ilmastoalueiden säätekijöihin perustuvat talvihoitotarpeet taulukon 7.1 mukaisia.

Taulukko 7.1 Ilmastotekijöihin perustuvat talvihoidon suhteelliset tarpeet ilmastoalueittain.

	LänsiEtelä-Rannikko	Lounainen	Keski-Kaakkoinen	Ala-Itäinen	Pohjois-Rannikko	Ylä-Itäinen	Lappi
Talvihoito	1.0	0.9	0.7	1.1	0.7	0.4	1.9
Lumenpoisto	1.0	0.9	0.8	1.4	0.9	0.6	2.7
Liukkaudentorjunta	1.0	0.9	0.6	0.7	0.5	0.2	0.7

Taulukon 7.1 arvojen mukaan olisivat pelkästään ilmastotekijöiden (säätunnuslukukertymien) perusteella Lapin ilmastoalueen talvihoidon tarpeet lähes kaksinkertaiset Länsi/Etelä-rannikkoon verrattuna. Lounainen ja Ala-Itäinen ilmastoalueiden talvihoitotarve olisi samaa suuruusluokkaa kuin Länsi/Etelä-rannikon alueen. Keski-Kaakkoinen, Pohjois-Rannikko ja Ylä-Itäinen alueiden talvihoitotarpeet olisivat pienimpiä.

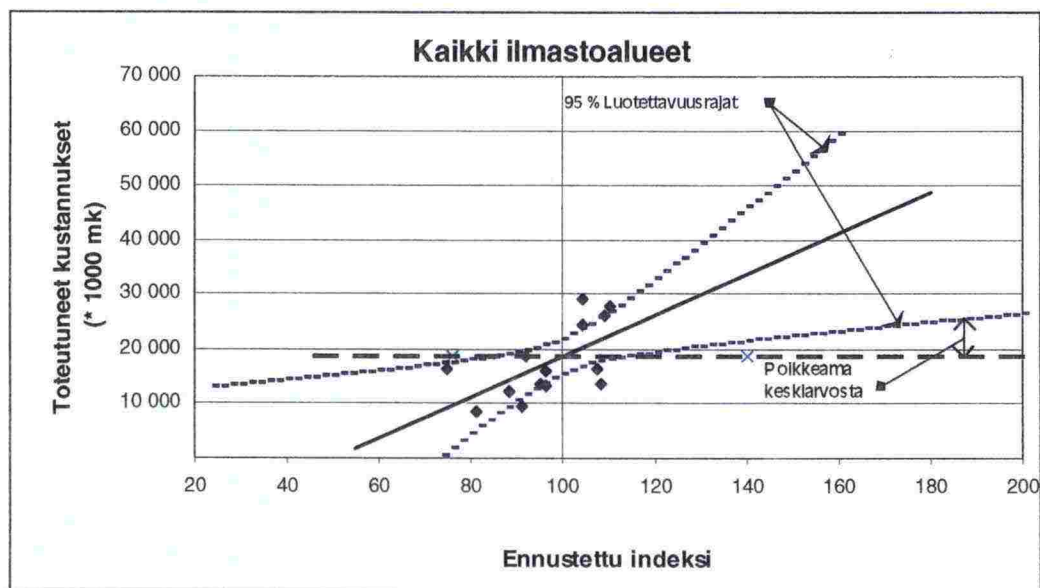
Lumenpoiston osalta Lapin ilmastoalueen säätekijöihin perustuva talvihoitotarve korostuu vielä voimakkaammin ollen 2,7-kertainen Länsi/Etelä-rannikon alueeseen verrattuna. Ala-Itäinen ilmastoalueella korostuu myöskin lumenpoiston tarve.

Liukkaudentorjunnan suhteen näyttäisivät ankarimpia ilmastoalueita olevan LänsiEtelä-Rannikko ja Lounainen alue.

Talvihoidon resurssitarve ei kuitenkaan kasva käytännössä suoraviivaisesti sääntunslukukertymien suhteessa vaan kasvu tapahtuu vaimentuneena. Tätä suhdetta pitäisi jatkossa selvittää. Ilmastoalueiden ja samalla tiepiirien todellinen resurssitarve riippuu tietysti voimakkaasti myös alueen tiestön laadusta ja pituudesta. Tiestön laadun ja pituuden vaikutusta resurssitarpeisiin voidaan arvioida talvihoitoluokittaisten kilometrikustannusten avulla. Yhdistämällä ilmastotekijöiden vaikutus tiestön laadun ja pituuden mukaisiin talvihoidon resurssitarpeisiin voidaan arvioida alueellisten talvihoitoresurssien todellisia tarpeita.

7.2 Regressiomallien käyttö alueurakoinnin tarpeisiin

Alueurakoinnissa on tarve määrittää urakointijakson talvien vaikeutta talvihoidon panostarpeita kuvaavalla mittarilla. Panostarpeita voidaan arvioida edellä esitettyjen talvi-indeksien arvojen avulla. Kehitetyillä kustannusmalleilla saatava talvi-indeksin arvo voidaan sitoa prosentuaalisena korjaustekijänä urakkasummaan. Korjaustekijän arvot voidaan määrittää ennustetun talvi-indeksin ja selitettävien kustannusten välisen lineaarisen regressiomallin avulla (kuva 7.1). Saadulle regressiosuoralle määritetään käytännön tarpeita palvelevat luotettavuusrajat, joiden perusteella korjaustekijät määritellään. Luotettavuusrajojen käytöllä saadaan korjaustekijän muutoksille tietty varmuus ja käytännön vaatima vaimennus. Kuvassa 7.1 on esitetty korjaustekijän määrittäminen käyttäen 95 % luotettavuusrajoja lähtökohtana.



Kuva 7.1 Talvi-indeksin ja talvihoitokustannusten välinen lineaarinen regressio luotettavuusrajoineen. Toteutuneet kustannukset edustavat ilmastoalueen keskimääräisiä kustannuksia.

Talven vaikeuden huomioonottava korjaustekijä saadaan määrittämällä talven talvi-indeksiä vastaava luotettavuusrajojen mukainen kustannusten poikkeama keskiarvokustannuksista. Poikkeaman arvo ilmoitettuna prosentteina keskiarvokustannuksista edustaa tarkasteltavan talvi-indeksin mukaista korjaustekijää.

Talvihoitokustannusten keskiarvon alapuolella hyödynnetään ylemmän luotettavuusrajan mukaisia arvoja ja keskiarvon yläpuolella alemman luotettavuusrajan mukaisia arvoja. Kuvan 7.1 mukaisilla arvoilla talvi-indeksin vaihtelu 86 ja 114 välillä ei vielä aiheuta kustannusten korjaustarvetta. Indeksien arvon ollessa 130 saadaan kustannusten korjausarvoksi noin 8,5 % ja indeksien arvon ollessa 140 korjausarvo on 13,0 %. Vastaavasti, kun talvi-indeksien arvo on 70, on korjaustekijän arvo -9,5 % ja indeksien arvolla 60 on kustannusten korjaustekijän arvo -14,5 %.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteet ja lähestymistavat

Tutkimuksen päätavoitteena oli kehittää ilmastotietoihin tukeutuva talvi-indeksi työkalu sekä talvihoitotarpeiden tarkasteluun että alueellisen talvihoitourakoinnin tarpeisiin. Talvi-indeksillä tarkoitetaan yleisesti talvihoitotoimenpiteisiin kytkettyä talven vaikeutta kuvaavaa tunnuslukua. Talven vaikeutta on tässä tutkimuksessa selvitetty ensimmäisessä vaiheessa talvihoidon tarvetta synnyttävien sääilmiöiden esiintymismäärillä. Sääilmiöitä on kuvattu perussäähavainnoista johdetuilla säätunnusluvuilla. Toisessa vaiheessa on kehitetty regressiomalleja, joilla ennustetaan säätunnuslukukertymien avulla talvihoitokustannuksia. Näin määritetyt talvihoitokustannukset kuvaavat talven vaikeutta. Varsinaisen talvi-indeksi työkalun lisäksi tutkimuksessa on tuotettu runsaasti yleisesti hyödynnettävää tietoa talvihoitotarvetta synnyttävien sääilmiöiden luonteesta ja ajallisista ja alueellisista vaihteluista ja jakaumista.

Perussäähavaintoina on tutkimuksessa hyödynnetty ensimmäisen kerran laajamittaisesti Ilmatieteen laitoksen sääasemien havaintojen lisäksi tiesääasemien säähavaintoja. Ilmatieteen laitoksen säähavaintotietoja on hyödynnetty ns. Synoptisilta sääasemilta 30-vuotiselta ajanjaksolta 1968-1997. Tiesääasemien havaintoja on ollut käytettävissä vuosilta 1992-1998 kaikkiaan 271 asemalta. Regressiomallien kehittämisessä käytetyt talvihoidon kustannustiedot perustuvat tiepiireiltä saatuihin tiemestaripiirikohtaisiin kustannuksiin.

Säätunnusluvut ja talven vaikeus

Talven vaikeutta on tarkasteltu erikseen lumenpoiston ja liukkaudentorjunnan osalta, koska toimenpiteitä synnyttävät sääilmiöt ovat näille hyvin erilaisia. Liukkaudentorjuntaa synnyttävinä ja talven ankaruutta kuvaavina säätunnuslukuina on käytetty mm seuraavanlaisia sääilmiöitä: jäätävä sade, suojalumen sade, märän tien jäätyminen, jäätyispisteen ylitys ja alitus, lauhtuminen ja tiivistyminen jääksi, kuuran ja mustan jään muodostuminen. Lumenpoiston säätunnuslukuina on käytetty 12 tunnin ja kuukauden lumisademääriä, lumisateiden lukumäärää, pyrytapauksia ja lumen ajautumistapauksia.

Talven ankaruuden alueellisten erojen ja vaihtelujen selvittämiseksi on sekä tiesääasemien että Ilmatieteen laitoksen asemien tiedoista tuotettu yksittäisten säätunnuslukujen ja niiden yhdistelmien vuosikertymien valtakunnalliset jakaumat. Vuosikertymien yhdistelmien mukaan suurimmat liukkaudentorjunnan tarpeet esiintyvät odotetusti Etelä-, Lounais- ja Länsi-Suomessa ulottuen länsirannikkoa pitkin aina

Tornionjokilaaksoon. Keskimääräistä pienemmät liukkaudentorjunnan suhteelliset tarpeet ovat Lapissa ja Itä-Suomessa.

Lumenpoiston säätunnuslukuyhdistelmien suurimmat arvot ovat Itä-Suomessa ja Lapissa. Lumisateiden pienimmät arvot esiintyvät maan etelä- ja länsirannikolla sekä Lounais-Suomessa. Lumenpoistoa kuvaavien säätunnuslukuyhdistelmien alueellinen vaihtelu on lähes päinvastainen verrattuna liukkaudentorjunnan jakaumiin.

Talvihoitokustannusten regressiomallit

Talvihoitokustannusten regressiomallitarkastelua varten jaettiin maa säätunnuslukujakaumien perusteella seitsemään ilmastoalueeseen. Jokaiselle ilmastoalueelle ja koko maalle kehitettiin lineaariset regressiomallit, joilla ennustetaan lumenpoisto- ja liukkaudentorjuntakustannuksia. Näiden yhdistelmänä saadaan talvihoidon kustannukset. Valikoivalla regressioanalyysillä kehitettyihin malleihin tuli mukaan useita säätunnuslukuja selittäjiksi. Mukaan otetut selittävät muuttujat ovat kaikki vähintään tilastollisesti melkein merkitseviä ja ennustetun ilmiön kannalta loogisia. Kaikkien mallien selitysasteet ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä. Selitysasteet vaihtelivat lumenpoistomalleissa Lapin mallin 78 %:sta Lounaisen alueen 59 %:iin. Liukkaudentorjuntamalleilla selitysasteet vaihtelivat vastaavasti välillä 68-57 %. Koko maan malleilla selitysasteet jäivät selvästi pienemmiksi kuin ilmastoalueiden malleilla. Regressiomalleille laskettujen keskivirheiden suhteelliset arvot vaihtelivat välillä 57-93 % lumenpoistomalleilla ja välillä 75-94 % liukkaudentorjuntamalleilla.

Liukkaudentorjuntakustannusten ennustemalleissa oli parhaana selittäjänä tiesää-
asemien havaintoihin perustuva kuuran ja mustanjään muodostumista kuvaava säätunnusluku. Tämä säätunnusluku on määritelty seuraavasti: Tienpinnan lämpötila havaintohetkellä on välillä 0...-5° C ja kastepistelämpötila on suurempi kuin tienpinnan lämpötila. Tällaisen sääilmiön otaksutaan aikaansaavan suolausta vaativan liukkaudentorjuntatilanteen.

Lumenpoiston malleissa parhaina selittäjinä olivat lumisateiden esiintymismäärät, 12 tunnin sademäärä yli 2 mm ja kuukauden lumisademäärä.

Malleilla ennustetut kustannukset seuraavat aika-kustannuskoordinaatistossa toteutuneiden kustannusten muutosten suuntia hyvin kuukausitasolla. Ongelmana on kuitenkin se, että ennustettujen ja toteutuneiden kustannusten kuukausiarvojen poikkeamat ovat vuositasolla samansuuntaisia. Tällöin vuositason kustannussummat ja niistä indeksoidut arvot voivat poiketa toisistaan enemmän kuin yksittäisten kuukausiarvojen perusteella on odotettavissa. Vuoden 1996 arvot muodostavat tähän tulokintaan kuitenkin poikkeuksen lähes kaikilla ilmastoalueilla.

Talvihoidon vuosikustannusten perusteella lasketut talvi-indeksit reagoivat tarkastelujaksolla vaimeasti talvihoidon toteutuneisiin muutoksiin. Pääosin ennustettu talvi-indeksi reagoi kuitenkin samansuuntaisesti kuin toteutunut talvi-indeksi.

Regressiomallien hyödyntäminen alueellisten talvihoitotarpeiden arvioinnissa

Alueellisilla tasauskertoimilla korjattuihin kustannuksiin perustuvia talvihoidon kustannusten ennustemalleja voidaan käyttää ilmastollisista eroista aiheutuvien talvihoitotarpeiden arvioinnin perustana. Mallien mukaan olisivat pelkästään ilmastotekijöiden (sääennustelukukertymien) perusteella Lapin ilmastoalueen talvihoidon tarpeet lähes kaksinkertaiset Länsi/Etelä-rannikkoon verrattuna. Lounainen ja Ala-Itäinen ilmastoalueiden talvihoitotarve olisi samaa suuruusluokkaa kuin Länsi/Etelä-rannikon alueen. Keski-Kaakkoisen, Pohjois-Rannikko ja Ylä-Itäinen alueiden talvihoitotarpeet olisivat pienimpiä.

Lumenpoiston osalta Lapin ilmastoalueen säätekijöihin perustuva talvihoitotarve korostuu vielä voimakkaammin ollen yli 2,5-kertainen Länsi/Etelä-rannikon alueeseen verrattuna. Ala-Itäinen ilmastoalueella korostuu myöskin lumenpoiston tarve. Liukkaudentorjunnan suhteen näyttäisivät ankarimpia ilmastoalueita olevan Länsi-Etelä- Rannikko ja Lounainen alue.

Talvihoidon resurssitarve ei kuitenkaan kasva käytännössä suoraviivaisesti sääennustelukukertymien suhteessa vaan kasvu tapahtuu vaimentuneena. Tätä suhdetta pitäisi jatkossa selvittää. Ilmastoalueiden ja samalla tiepiirien todellinen resurssitarve riippuu tietysti voimakkaasti myös alueen tiestön laadusta ja pituudesta. Tiestön laadun ja pituuden vaikutusta resurssitarpeisiin voidaan arvioida talvihoitoluokittaisten kilometrikustannusten avulla. Yhdistämällä ilmastotekijöiden vaikutus tiestön laadun ja pituuden mukaisiin talvihoidon resurssitarpeisiin voidaan arvioida alueellisten talvihoitoresurssien todellisia tarpeita.

Talvihoidon alueurakoinnissa on tarpeen määrittää urakointijakson talvien ankaruus talvihoidon panostarpeita kuvaavalla mittarilla. Panostarpeita voidaan arvioida talviindeksin arvoilla, sitomalla kustannusmalleilla saadut arvot prosentuaalisena korjaustekijänä urakkasummaan. Korjaustekijän arvot on määritetty kustannusmalleilla ennustettujen talvi-indeksien ja selitettävien kustannusten välisen regressiomallin avulla. Käyttämällä korjaustekijän määrittämisessä 95 %:n luotettavuusrajoja ei talviindeksin vaihtelu välillä 86-114 (talvi-indeksin poikkeama keskiarvotalvesta ± 14 %) vielä aiheuta korjaustarvetta. Indeksien arvon ollessa 130 saadaan kustannusten korjausarvoksi noin +8,5 % ja vastaavasti indeksin ollessa 70 korjaustarve on noin -9,5 %.

Lisä- ja jatkotutkimustarpeita

Tutkimuksen yhteydessä on todettu puutteita ja epävarmuustekijöitä erityisesti talvihoidon panostietojen suhteen. Panostietoja oli käytettävissä vain talvihoidon kustannusten osalta. Näiltäkin osin tietojen saatavuudessa oli puutteita ja erityisesti kuukausitason kustannustietoihin liittyi myös epävarmuustekijöitä niiden luotettavuuden suhteen. Kehitettyjen mallien tarkistustyötä varten olisi hyödyllistä saada tuotetuksi vaikka otosluonteisesti tuoteryhmittäistä tarkkaa kuukausitason panostietoa. Panostietoina olisi hyödyllistä saada käytettäväksi kustannustietojen lisäksi myös suoritetietoutta.

Ilmastotietojen osalta oli puutteena tiesääasemilta käytettävissä olevan kattavan havaintojakson lyhyys. Jatkossa olisi hyödyllistä havaintojakson pituuden kasvaessa ja havaintodatan lisääntyessä tehdä mallien uudelleen arviointia. Malleja voitaisiin ensimmäisessä vaiheessa testata kertyneellä uudella havaintoaineistolla. Toisessa vaiheessa voitaisiin tarpeen mukaan kehittää mallien tarkkuutta uuden säähavaintoaineiston lisäyksellä.

9 LÄHDELUETTELO

Angervuori, T. 1980, Yleisten teiden kunnossapitokustannusten jakautuminen TVL:n piirien kesken. Helsinki. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. 96 s.

Boselly III, S. E. et al. 1993. Road Weather Information Systems. Vol. 1: Research report. Washington (D.C.): SHRP. 1993. 219 p. ISBN 0-309-05273-4.

Breitenstein, J. 1994. Winterindex, Entwicklung einer Kenngröße zur Beschreibung der Winterstrenge. In: Proceedings. Technical report. Volume 1-2. PIARC IX International Winter Road Congress. Seefeld. Austria. p. 389-396.

Cramér, H. 1971, Mathematical methods of statistics. 12. p. Princeton. Princeton University press. p. 208-213. ISBN 0-691-08004-6.

Gustavsson, T. 1996, Test of indices for classification of winter climate. In: Meteorological Applications. Vol 3 no 3, p. 215-222.

Henttonen, H. 1991. Kriging in interpolating July mean temperatures and precipitation sums. Jyväskylän yliopiston tilastotieteen laitoksen julkaisuja No. 12. Department of Statistics. University of Jyväskylä. Jyväskylä. 41 s.

Hulme, M. 1982, A new winter index and geographical variations in winter weather. In: Journal of Meteorology. Vol 7. p. 294-300. ISSN 0307-5966.

Ilmatieteen laitos. 1986. Sääsähkeohje. Ilmatieteen laitos. Helsinki.

Johns, D. 1996, The MOORI. A new index for winter road maintenance. In: Proceedings. 8th International Road Weather Conference. SIRWEC. Birmingham. UK. p. 22-26.

Järvinen, M. 1998, Talvihoidon sääindeksi. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. 26 s.

Kirk, J. 1998, Vinterindex. Statusnotat-1998. København K. Vejdirektoratet. 15 s.

Laine, V. 1998, Talvi-indeksi tielaitoksen Lapin piirin olosuhteisiin. Oulu, Oulun yliopisto, Rakentamistekniikan osasto 92 s.

Lindqvist, S. 1979. Studies of slipperiness on roads (English summary). Göteborg. Göteborg university. 46 s. (GUNI rapport 12).

Norrman, J. & Eriksson, M. 1998. Relations between Road Weather, Road Maintenance and Traffic Accidents. In: Proceedings of the 9th SIRWEC Conference. 15-17 March 1998. Göteborg university. p.164-173.

Ripley, B. 1981. Spatial statistics. New York. Wiley. 252 p.

Sarkanen, A-K, 1989. Sademittarin tuulivirheen korjausmenetelmä. Ilmatieteen laitos. Julkaisuja 13. Ilmatieteen laitos, Helsinki.

Tielaitos. Tiehallitus. 1992. Teiden talvihoito II: Menetelmäohjeet. Helsinki. 74 s. TIEL 2230006.

Tielaitos, Tuotannon palvelukeskus 1996. yleisten teiden tuotantotilasto 1995. Helsinki. 1996. 103 s. (Tielaitoksen tilastoja 2/1996). ISSN 0788-3714. TIEL 3302895-96.

Maarakennuskustannusindeksi 1998, Joulukuu 1998. Helsinki: Tilastokeskus, 1998. 4 s. ISSN 1236-9942.

Tokola, T. & al. 1994. Paikkatieto ja paikkatietojärjestelmät. Joensuu. Joensuun yliopisto. 1994. 90 s. (Silva Carelica 28). ISBN 951-708-255-X.

Venäläinen, A. Heikinheimo, M. 1997, The spatial variation of long-term mean global radiation in Finland. In: International Journal Climatology vol. 17, p. 415-426.

Venäläinen, A. Helminen, J. 1998, Maanteiden talvikunnossapidon sääindeksi. Helsinki. Ilmatieteen laitos. Meteorologinen tutkimus. 47 s. (Ilmatieteen laitos, Raportteja 2/1998). ISBN 951-697-489-9, ISSN 0782-6079

LIITTEET

Liite 1. Tiesääasemilla tallennetut säähavainnot ja tallennuksen puutteet v. 1992-1998.

Liite 2. Säähavaintojen puutteet, poistetut ja toisen anturin tiedoilla korvatut arvot.

Liite 3. Talvihoitokustannusten saatavuus 1992-1997.

Liite 4. Kausittaiset ja alueelliset korjauskertoimet.

Liite 5. Tiesääasemien säätunnuslukujen vuosikertymien keskiarvojen (1993-1998) perusteella määritetyt 10 ankarinta ja 10 helpointa tiemestaripiiriä järjestyksessä ankarimmasta helpoimpaan säätunnusluvuittain.

Liite 6. Loput säätunnuslukupinnat.

Liite 7. Korrelaatiokertoimet alueittain.

Tiesäaasemilla tallennetut säähavainnot ja tallennuksen puutteet v. 1992-1998

Tiepiiri	Tallennus alkaa kuukausi/vuosi	Tiesäaaseman numero	Puutteet: aseman numero (kuukausi/vuosi)
Uusimaa	10/1992	1001-1020	kaikki (10/1995, 12/1996)
	12/1993	1021	1033 (1/1997)
	11/1995	1022,1023	1005 (11/1992); 1024 (12/1997)
	10/1996	1024-1033	1004 (2/1993); 1009,1024 (11/1997)
	10/1997	1034-1037	1009,1010,1019,1034 (10/1997)
Turku	10/1992	2001-2022 (ei 2007,2010)	kaikki (11/1993,11/1996)
	11/1992	2023-2027	2026 (11/1992); 2054 (4/1995)
	1/1993	2051-2054	2015 (4/1993); 2051 (10-11/1995)
	10/1993	2028,2029	2053 (4/1994); 2063,2065,2066 (10/1996)
	10/1996	2061-2066	2065 (2/1997); 2053 (4/1997)
	12/1996	2030	
	10/1997	2067-2077, 2031	
Häme	10/1992	2007,2010,4001-4017	4017 (10/1994); kaikki (12/1996)
	3/1993	4020	
	10/1994	4021-4024	
	11/1994	4025,4026	
Kaakkois-Suomi	10/1992	5001-5011, 6001-6010	5015 (1/1994); 5016 (10-12/1994)
	11/1992	5014	3003 (12/1994,1/1995); 50*,60* (1/1995)
	12/1992	5012,5013	kaikki (1/1996; paitsi 3001,3002,5001)
	11/1993	5015	kaikki (10-12/1996;paitsi 3001,3002)
	4/1994	5016	
	11/1994	3001-3003	
	1/1997	3004-3007	
	10/1997	3008-3010	
Savo-Karjala	10/1992	7001-7005,8001-8006	kaikki (10-11/1993, 2-3/1994)
	12/1993	8007,8008	kaikki (3/1996; paitsi 7001,8002,8003, 8006)
	11/1994	8009,7006-7010	kaikki (4/1996,1/1997)
	12/1994	8010	
Keski-Suomi	10/1992	9001-9011	9004 (10/1993); 9012 (12/1993)
	11/1993	9012	9013 (11/1994); kaikki (1,3,10/1995)
	10/1994	9013	kaikki (1-4/1997)
	11/1995	9014,9015	
	10/1997	9016	
Vaasa	10/1992	10001-10011,11002, 11006,11007	kaikki (4/1994, 3-4/1997)
	10/1993	10012-10020	
	11/1994	10021	
	10/1997	10022-10025	
	11/1998	10026-10028	
Oulu	10/1992	12001-12010,11001,11003-11005	12004 (10/1993-4/1995)
	10/1993	12011-12013,13001-13007	12008-12014,13004-13007 (1/1996)
	10/1994	12014	12015 (10/1997)
	12/1996	12015	
	11/1997	12016	
	11/1998	12017	
Lappi	10/1992	14001-14007	14004, 14011 (10/1993)
	10/1993	14008-14015	14004 (12/1996)
	10/1997	14016-14019	14009 (10/1997)

Säähavaintojen puutteet, poistetut ja toisen anturin tiedoilla korvatut arvot

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Kaikki	kaikki	kaikki	15.-16.10.1997	p (osa)
Uusimaa	1001	9	13.-14.11.1997	p
	1002	3, 5	5.1.-30.4.1996	p
	1003	3 (tienpinta)	16.-30.4.1993	p, k [5]
	1003	9	1.-31.10.1994	p
	1003	9 (kastepiste)	5.-9.11.1994	p
	1004	3	12.-30.4.1995	p, k [5]
	1005	3,5(tienpinta)	17.-19.4.1994	p
	1007	3	10.2.-30.4.1994	p, k [5]
	1007	kaikki	1.-12.10.1994	p
	1007	3	1.10.-30.11.1996	p, k [5]
	1007	3	3.1.-30.4.1997	p, k [5]
	1009	1, 3, 9	1.-8.12.1995	p
	1009	3	8.-31.12.1995	p, k [5]
	1009	3	1.1.-30.4.1996	p, k [5]
	1010	3	25.-30.4.1995	p, k [5]
	1010	3, 5	22.-27.12.1995	p
	1011	9	23.-31.10.1994	p
	1011	3	24.-27.11.1995	p, k [5]
	1011	3	17.3.-30.4.1997	p, k [5]
	1012	9	22.10.-30.10.1993	p
	1013	3	2.10.-8.11.1994	p, k [5]
	1017	9	1.-30.12.1994	p (osa)
	1019	3	1.10.-8.11.1994	p
	1025	3	12.3.-30.4.1997	p, k [5]
	1025	3	15.-23.11.1997	p, k [5]

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Keski-Suomi	9001	3	1.-30.4.1995	p, k [5]
	9002	9	1.-11.10.1994	p
	9002	3	18.12.93-11.10.94	p, k [5]
	9004	3, 5	12.-16.4.1993	p
	9008	3	11.-13.12.1995	p, k [5]
	9008	3	22.-31.3.1996	p, k [5]
	9008	3	8.-20.4.1996	p, k [5]

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puut- tuu (p) / korvattu (k)
Kaakkois-Suomi	3*,5*,6*		1.10.-31.12.1996	p
	3002	3	7.-23.11.1994	p, k [5]
	3004	kaikki	9.-16.2.1996	p
	3004	3, 5	1.2.-30.4.1996	p (osa)
	5001	1 (ilma), 3, 9	29.10.-3.11.1992	p
	5002	3, 5	22.-30.4.1993	p
	5004	3, 5	14.10.-6.11.1992	p
	5004	1, 3, 5, 9	1.-24.11.1997	p
	5007	3	9.-18.10.1995	p
	5007	3, 5	12.3.-21.4.1996	p (osa)
	5007	9	24.2.-31.3.1997	p
	5012	9	2.-6.10.1995	p
	5015	1, 9	5.-17.11.1993	p
	6001	9	1.2.-30.4.1993	p
	6003	1, 3, 9	24.-25.10.1994	p
	6005	3	1.-24.10.1997	p, k [5]
	6006	9	26.12.1992	p
	6006	9	1.-31.12.1994	p (osa)
	6006	3	11.-31.12.1997	p, k [5]
	6006	9	9.2.-31.4.1993	p (osa)
	6008	9	5.12.1992	p
	6008	9	13.3.-31.4.1995	p
	6009	3	4.-18.10.1994	p, k [5]
	6009	3	13.3.-30.4.1995	p, k [5]

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Vaasa	10004	3	16.2.-30.4.1993	p, k [5]
	10005	3	1.-21.11.1994	p, k [5]
	10006	3	2.-4.1.1996	p, k [5]
	10012	3	18.-19.3.1996	p, k [5]
	10012	3	10.-12.4.1996	p, k [5]
	10012	3	2.-1.11.1996	p, k [5]
	10012	3	31.1.1997	p, k [5]
	10015	3, 5	11.12.1996	p
	10016	9	15.-26.10.93	p
	10016	kaikki	1.-15.10.,27.10.- 1.11.93	p
	10018	3	2.10.1995	p, k [5]
	10021	kaikki	1.-13.10.1995	p
	10021	3	16.10.1995	p, k [5]
	11002	3	10.18.10.1993	p, k [5]
	11006	3	8.10.-31.12.1997	p, k [5]

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Lappi	14007	3	1.11.-31.12.1995	p
	14007	3	17.-20.2.1996	p (osa)
	14013	3	1.10.-30.11.1997	p
	14013	3	1.10.-31.12.1997	p

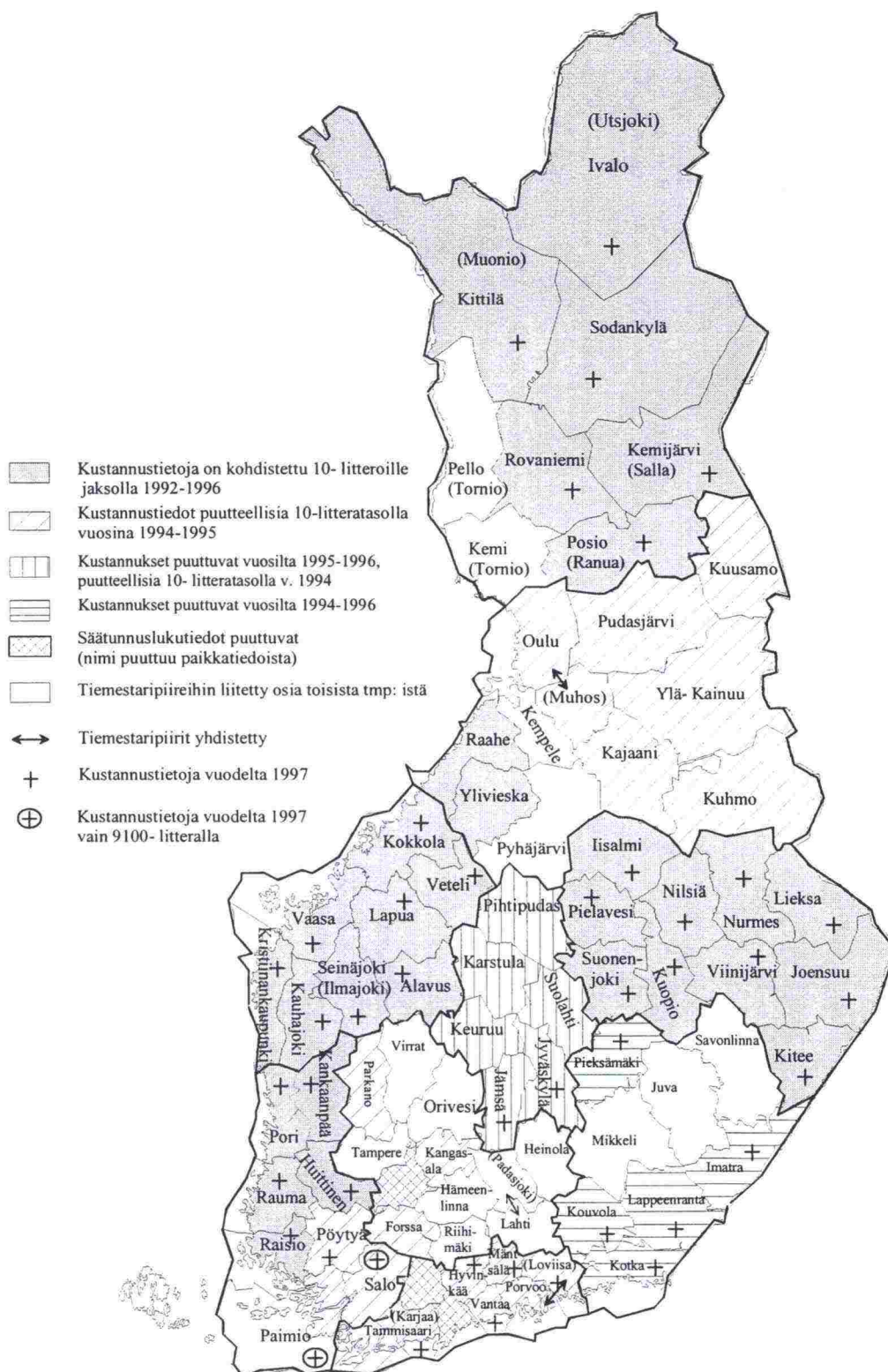
Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Oulu	11003	3	1.10.-10.12.1992	p, k [5]
	11004	3	1.-30.4.1995	p, k [5]
	11004	3	4.-30.4.1995	p, k [5]
	11004	3	5.3.-30.4.1997	p, k [5]
	11004	3	5.3.-30.4.1997	p, k [5]
	11005	3	12.10.1993(3 kpl)	p
	12003	9	1.1.-30.4.1997	p (osa)
	12003	9	20.1.-30.4.1997	p (osa)
	12014	1, 9	3.-20.10.1994	p
	12014	9	3.-31.10.1994	p
	13001	9	1.-26.10.1993	p
	13001	9	11.-30.4.1994	p
	13001	9	3.10.-27.12.1994	p (osa)
	13001	9	3.10.-27.12.1994	p
	13001	3, 5	22.3.-30.4.1995	p
	13006	3	20.10.1994	p
	13006	9	24.-25.3.1995	p
	13006	9	1.-20.4.1995	p
	13006	1, 9	24.3.-20.4.1995	p
	13007	1	12.10.1993(3 kpl)	p
	13007	9	11.-13.10.1993	p
	13007	1, 9	1.11.-15.12.1993	p (osa)
	13007	1, 9	5.11.-16.12.1993	p
	13007	9	5.-16.2.1994	p (osa)
	13007	1, 9	26.1.-16.2.1994	p

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Savo-Karjala	7004	3	1.-19.10.1992	p, k [5]
	8001	3	17.-25.10.1994	p
	8001	9	16.-26.12.1996	p
	8001	9	15.-26.3.1997	p
	8002	3, 5	26.-30.4.1995	p
	8009	3	27.2.-10.4.1995	p, k [5]
	8010	1, 9	1.1.-2.3.1995	p

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Häme	4004	3	25.-28.11.1994	p, k [5]
	4005	3, 5	2.-3.4.1993	p
	4006	3	17.-19.2.1993	p, k [5]
	4006	3	19.2.-30.4.1994	p, k [5]
	4006	3, 5	25.-30.4.1996	p
	4007	9	21.-22.11.1996	p
	4008	3, 5	25.-30.4.1994	p
	4008	3	20.-31.12.1994	p, k [5]
	4008	3	1.-24.1.1995	p, k [5]
	4008	3	1.3.,13.3.-30.4.95	p, k [5]
	4009	3	3.1.-30.4.1994	p, k [5]
	4011	9	10.4.1993	p
	4011	9	17.-19.1.1994	p
	4014	1, 3, 9	19.-20.10.1993	p
	4016	3	7.-19.1.1995	p, k [5]
	4024	1, 9	1.-17.10.1994	p
	4026	3, 5	31.10.1996	p (osa)

Tiepiiri	Aseman nro	Anturin nro	aika	poistettu tai puuttuu (p) / korvattu (k)
Turku	kaikki	kaikki	9.-15.10.1994	p
	2001	3	14.-16.2.1997	p
	2001	3	17.3.-19.4.1997	p
	2002	3	8.3.-5.4.1996	p
	2004	3	19.-20.11.1992	p
	2004	3	4.-9.10.1994	p
	2006	3	20.11.1997	p
	2012	1, 9	24.1.-16.2.1995	p
	2012	1, 9	27.-31.12.1996	p
	2012	1, 9	1.-22.1.1997	p
	2013	3	4.-9.2.1993	p
	2013	3	22.1.1995	p
	2013	3	4.-30.4.1995	p
	2013	3	14.10.1997	p
	2014	kaikki	24.12.93-21.1.94	p
	2014	3	21.1.-30.4.1994	p
	2016	3	28.10.1992	p
	2016	3	1.3.-21.4.1996	p
	2019	3	23.-30.4.1993	p
	2019	1, 3, 9	1.-27.10.1993	p
	2023	9	4.-6.11.1992	p
	2025	9	26.11.-4.12.1992	p
	2027	3	1.10.-2.11.1995	p
	2028	9	13.-14.10.1997	p
	2053	1, 3, 9	20.-30.11.1995	p, [3] k [5]

Talvihoitokustannusten saatavuus 1992-1997



Kausittaiset ja alueelliset korjauskertoimet

Vuositason korjauskertoimet

Turku								
Vuosi	Raisio	Paimio	Salo	Pöytyä	Kankaanpää	Pori	Rauma	Huittinen
1992	0.7389	0.8422	1.0698	1.1141	2.1002	0.7161	1.1077	0.9904
1993	1.0600	0.8625	1.0954	1.1277	2.0941	0.7264	1.1355	1.1028
1994	1.0330	0.8764	1.2436	1.0353	1.3441	0.8720	1.0918	0.9794
1995	1.0081	1.0181	1.0146	1.0125	1.3119	0.8520	1.0603	0.9576
1996	1.0245	1.0203	1.0215	1.0212	1.0213	1.0202	1.0267	1.0214

Uusimaa						
Vuosi	Vantaa	Tammisaari	Hyvinkää	Espoo	Mäntsälä	Porvoo
1992	0.8498	1.0287	1.5091	1.0479	0.5655	1.1942
1993	0.8631	1.0476	1.4925	1.0521	0.5712	1.1402
1994	1.0443	1.0182	1.4195	1.0365	0.5538	1.1068
1995	1.0013	0.9767	1.0383	1.0507	0.5672	0.9974
1996	1.0226	0.9853	1.0226	1.0712	0.5770	1.0226

Oulu									
Vuosi	Kempele	Raahe	Oulu	Kuusamo	Pudasjärvi	Kajaani	Ylä-Kainuu	Kuhmo	Ylivieska
1992	0.7723	1.1724	0.9788	1.1703	0.9581	1.0434	1.0743	1.0491	1.0483
1993	0.7906	1.2001	1.0020	1.1979	0.9807	1.0680	1.0997	1.0739	1.0731
1994	0.7665	1.1635	0.9714	1.1614	0.9508	1.0354	1.0661	1.0411	1.0403
1995	1.0148	1.0147	1.0161	1.1348	0.9296	1.0149	1.0167	1.0178	1.0174
1996	1.0225	1.0223	1.0213	1.0219	1.0225	1.0226	1.0225	1.0254	1.0225

Häme								
Vuosi	Forssa	H:linna	Parkano	Virrat	Lahti	Kangasala	Pirkkala	Orivesi
1992	1.3759	*	0.9971	*	*	1.3687	1.0741	*
1993	1.3377		0.9837			1.3089	1.1938	
1994	1.2284		0.9178			1.1796	1.2488	
1995	1.0151		0.9612			0.6172	1.0763	
1996	1.0226		1.0222			1.0225	1.0278	

*=tiemestaripiirejä pilkottu ja liitetty kahteen tai useampaan tiemestaripiiriin

Savo-Karjala										
Vuosi	Iisalmi	Kuopio	Nilsia	Pielavesi	Suonenjoki	Joensuu	Kitee	Lieksa	Nurmes	Viini-järvi
1992	0.6521	0.6345	0.9240	0.8361	0.9723	0.9214	1.0519	1.2353	0.8237	1.1935
1993	0.6675	0.6495	0.9458	0.8558	0.9952	0.9431	1.0768	1.2645	0.8432	1.2217
1994	0.6489	0.5955	1.0228	0.8104	1.0499	0.9065	1.0429	1.2278	0.8149	1.0554
1995	0.5860	0.5791	1.0096	0.9042	1.0201	0.7266	1.0172	1.1076	0.9053	1.0221
1996	0.5416	0.5803	1.0270	1.0238	1.0214	0.5713	1.0226	1.0226	1.0215	1.0201

Lappi								
Vuosi	Kemi	Kittilä	Posio	Roi	Kemijärvi	Sodankylä	Ivalo	Pello
1992	*	1.0754	0.9567	0.9294	0.8669	1.9186	1.1314	*
1993		1.0799	0.9648	0.9495	0.8603	1.8237	1.1390	
1994		1.0379	0.9361	0.9179	0.8333	1.7681	1.1046	
1995		1.0151	1.0195	1.0155	0.7323	1.6388	1.0799	
1996		1.0226	1.0272	1.0231	0.7309	1.6511	1.0891	

Kaakkois-Suomi									
Vuosi	Kotka	Kouvola	Lappeen- ranta	Imatra	Heinola	Mikkeli	Pieksämä- ki	Savonlinna	Juva
1992	1.1204	0.9307	0.9966	1.0175	*	*	1.0498	*	*
1993	1.1472	0.9546	1.0203	1.0424			1.0746		
1994	1.1136	0.9268	0.9791	1.0107			1.0435		
1995	1.0765	0.9063	0.9575	0.9882			1.0210		
1996	1.0224	1.0202	1.0211	1.0219			1.0218		

Vaasa								
Vuosi	Kokkola	Alavus	Lapua	Kauhajoki	Seinäjäki	Vaasa	Kris- tiinank.	Veteli
1992	1.6577	1.3928	0.8137	1.7635	1.6961	0.9606	0.9179	1.6737
1993	1.6968	1.4257	0.8329	1.8051	1.7362	0.9833	0.9395	1.7132
1994	0.7266	1.3869	0.6842	1.7522	1.5761	1.0771	0.9081	1.6609
1995	0.7108	1.3373	0.6853	1.3077	1.5145	1.2159	0.8246	1.6237
1996	1.0222	1.0218	1.0273	1.0260	1.0225	1.0210	1.0250	1.0225

Keski-Suomi						
Vuosi	Jyväskylä	Jämsä	Keuruu	Karstula	Pihtipudas	Suolahti
1992	1.0462	1.0462	1.0592	1.0462	1.0462	1.0616
1993	1.0709	1.0709	1.0842	1.0709	1.0709	1.0709
1994	1.0382	1.0382	1.0382	1.0382	1.0382	1.0382
1995	1.0149	1.0149	1.0149	1.0149	1.0149	1.0149
1996	1.0226	1.0226	1.0226	1.0226	1.0226	1.0226

Vuositasen korjauskertoimien laskemisperusteet tiedoiltaan puutteellisille vuosille

Oulun tiepiiri: Vuosien 1992 ja 1993 kertoimet saatiin siten, että vuoden 1994 kerroin kerrottiin vuosien 1992 ja 1993 tienrakennuskustannusindeksillä

Hämeen tiepiiri: Vuoden 1993 kerroin saatiin siten, että laskettiin vuosien 1992 ja 1994 kertoimien keskiarvo ja kerrottiin saatu arvo vuoden 1993 tienrakennuskustannusindeksillä

Vaasan tiepiiri: Vuoden 1992 kerroin saatiin siten, että vuoden 1993 kerroin kerrottiin vuoden 1992 tienrakennuskustannusindeksillä. Vetelin tmp: ssä vuosien 1992 ja 1993 kerroin saatiin kertomalla vuoden 1994 kerroin vuosien 1992 ja 1993 tienrakennuskustannusindekseillä.

Keski-Suomen tiepiiri: Vuosien 1995, 1996 ja 1997 tiemestaripireittäiset kokonaistiepituuksia oletettiin yhtä suuriksi vuoden 1994 tilanteen kanssa (vuoden 1995 rajojen muutokset huomioiden).

Turun tiepiiri: Kertoimien laskemiseen käytettiin tiemestaripireittäisiä toiminnallisen luokituksen mukaisia kokonaistiepituuksia.

Alueelliset korjauskertoimet

Turun tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Paimio	0.9373	1.0023	0.9028
Pöytyä	0.5518	0.6295	0.5148
Raisio	0.7695	0.8482	0.7259
Salo	0.6418	0.7241	0.6028
Huittinen	0.5397	1.0361	1.0229
Rauma	0.7878	0.9120	0.7100
Pori	0.6490	0.7850	0.5836
Kankaanpää	1.0000	1.0000	1.0000

Kaakkois-Suomen tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Kotka	0.6947	0.7819	0.6319
Kouvola	0.6337	0.7182	0.5670
Lappeenranta	0.6008	0.6431	0.5568
Imatra	0.7945	0.7881	0.7740
Mikkeli	0.5117	0.5671	0.4744
Pieksämäki	0.8331	0.8336	0.8352
Savonlinna	0.7601	0.7558	0.7321
Juva	0.7240	0.6874	0.7032

Hämeen tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Heinola	0.9062	1.0164	0.8380
Lahti	0.6182	0.7266	0.5579
Padasjoki	1.2672	1.3576	1.1835
Riihimäki	0.8148	0.9387	0.7189
Tampere	0.6210	0.7354	0.5655
Parkano	0.7978	0.8697	0.7575
Virrat	1.0634	1.0505	1.0415
Orivesi	0.7265	0.7729	0.6876
Kangasala	1.2880	1.3710	1.1898
Toijala	0.8520	1.0580	0.7477
Hämeenlinna	0.7300	0.8542	0.6480
Forssa	0.9221	1.0297	0.8534

Savo-Karjalan tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Joensuu	0.5198	0.5206	0.4963
Iisalmi	0.6821	0.6493	0.7009
Nurmes	0.5018	0.4848	0.5153
Kuopio	0.5280	1.0849	0.7176
Suonenjoki	0.9014	0.8546	0.8711
Nilsinä	0.9412	0.8135	0.9676
Viinijärvi	0.7800	0.7446	0.7530

Keski-Suomen tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Jyväskylä	0.7478	0.8571	0.6683
Jämsä	0.9729	1.0457	0.9024
Karstula	0.9797	1.0001	1.0323
Keuruu	1.1344	1.0902	1.1262
Pihtipudas	1.0470	0.9789	1.0495
Suolahti	0.8788	0.9338	0.8334

Vaasan tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Kokkola	0.5331	0.9053	0.7201
Veteli	1.5120	1.4273	1.4581
Alavus	0.8633	0.8295	0.8600
Seinäjoki	0.5347	0.6037	0.5002
Lapua	0.6008	0.5943	0.5685
Kauhajoki	0.9670	0.9053	0.9110
Kristiinankaupunki	0.8107	0.8745	0.7674
Vaasa	0.4790	0.5474	0.4481

Oulun tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Kempele	0.8883	1.0268	0.8059
Hintta I. Oulu	0.5710	0.6868	0.4908
Raahe	0.6804	0.7296	0.6320
Ylivieska	0.6797	0.6731	0.6410
Pyhäjärvi	0.5086	0.5300	0.4770
Kajaani	0.7537	0.7535	0.7361
Kuhmo	0.6329	0.5786	0.6514
Ylä-Kainuu	0.4930	0.4413	0.4966
Kuusamo	0.8478	0.8341	0.8545
Pudasjärvi	0.8054	0.7622	0.7856

Lapin tiepiiri			
TMP	TH-kerroin	LP-kerroin	LT-kerroin
Kemi	0.6613	0.6932	0.6368
Rovaniemi	0.6442	1.2251	0.9164
Pello	0.7161	0.7664	0.7088
Muonio	0.5374	0.6005	0.5044
Posio	0.9774	0.8620	0.9773
Kemijärvi	0.7686	0.7576	0.7600
Sodankylä	0.7642	0.7924	0.7327
Ivalo	0.6561	0.6807	0.6129

Alueellisen kertoimen laskeminen Sodankylän tiemestaripiirille

TMP	Sodankylä			Kankaanpää		
	Tiepituus [km]	talvihoidon yksikkökustannus [mk/km]	Kustannus	Tiepituus [km]	talvihoidon yksikkökustannus [mk/km]	Kustannus
Isk	0	41780	0	0	41780	0
Is	0	24740	0	1	24740	24740
I	0	17190	0	26	17190	446940
Ib	227.6	13100	2981560	115	13100	1506500
II	240.3	4890	1175067	140	4890	684600
III	573	3170	1816410	600	3170	1902000
Summa	1040.9		5973037	882		4564780

$$AK_{Sodankylä} = \frac{4564780}{5973037} = 0,7642$$

Vuosittaisen korjauskertoimen laskeminen Sodankylän tiemestaripiirissä vuonna 1995

Talvihoidettavan tieverkon pituus vuonna 1995 oli 639,7 km

Talvihoidettavan tieverkon pituus vuonna 1997 oli 1032,9 km

Tienrakennuskustannusindeksin perusteella laskettu korjauskerroin on 1,015

Lopullinen vuositaso korjauskerroin lasketaan seuraavasti

$$KK_{1995, Sodankylä} = \frac{1032,9}{639,7} * 1,015 = 1,6388$$

Tiesääasemien säätunnuslukujen vuosikertymien keskiarvojen (1993-1998) perusteella määritetyt 10 ankarinta ja 10 helpointa tiemestariپیriä järjestyksessä ankarimmasta helpoimpaan säätunnusluvuittain.

Järjestys	Jäätymispiste- teen ylitys ja alitus		Jäätymispiste- teen alitus		Kuura liukkaus ja suolaus		Kuura liukkaus ja hiekoitus		Lämpöaalto	
	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä
1. Ankara	Kankaan- pää	30.2	Rauma	54.8	Veteli	255.0	Ivalo	336.9	Raisio	67.8
2. Ankara	Lapua	30.1	Raisio	54.5	Kristi- nankau- punki	252.9	Sodan- kylä	327.7	Paimio	67.0
3. Ankara	Veteli	30.0	Pori	53.7	Kankaan- pää	251.5	Kittilä	325.24	Vaasa	66.57
4. Ankara	Keuruu	29.8	Kotka	52.0	Parkano	245.7	Kemijärvi	294.1	Kristi- nankau- punki	66.55
5. Ankara	Ylivieska	29.7	Huittinen	51.79	Virrat	241.3	Pello	293.2	Rauma	66.12
6. Ankara	Pori	29.68	Pöytyä	51.76	Keuruu	235.8	Ro- vaniemi	283.7	Kauha- joki	65.67
7. Ankara	Virrat	29.64	Paimio	51.21	Alavus	233.9	Ylä- Kainuu	240.4	Vantaa	65.39
8. Ankara	Kouvola	29.4	Kouvola	50.1	Jämsä	233.8	Posio	235.5	Pöytyä	65.37
9. Ankara	Karstula	29.32	Lappeen- ranta	50.0	Orivesi	233.0	Kuusamo	226.7	Hyvinkää	65.16
10. Ankara	Mikkeli	29.31	Kankaan- pää	49.4	Tam- misaari	228.1	Veteli	223.8	Seinäjoki	64.88
10. Helppo	Mäntsälä	22.4	Kuhmo	33.9	Lappeen- ranta	140.8	Rauma	75.9	Ylä- Kainuu	51.74
9. Helppo	Porvoo	22.1	Ylä- Kainuu	32.3	Juva	134.5	Mikkeli	75.8	Kemi	51.68
8. Helppo	Posio	21.6	Pudas- järvi	31.6	Mikkeli	128.3	Riihimäki	74.8	Posio	50.09
7. Helppo	Vantaa	21.5	Ro- vaniemi	31.2	Kouvola	123.8	Lahti	65.6	Ro- vaniemi	49.76
6. Helppo	Ro- vaniemi	20.4	Posio	29.5	Kemijärvi	123.6	Porvoo	63.3	Pello	49.20
5. Helppo	Kuusamo	19.8	Kittilä	28.1	Kittilä	117.8	Hyvinkää	54.2	Kuusamo	47.58
4. Helppo	Kittilä	19.2	Kemijärvi	27.2	Kotka	116.7	Mäntsälä	52.5	Kemijärvi	47.57
3. Helppo	Kemijärvi	19.0	Kuusamo	24.8	Vantaa	115.1	Kouvola	50.8	Kittilä	47.55
2. Helppo	Sodan- kylä	15.7	Sodan- kylä	23.8	Sodan- kylä	113.9	Kotka	44.4	Sodan- kylä	47.17
1. Helppo	Ivalo	14.0	Ivalo	21.3	Ivalo	110.3	Vantaa	42.7	Ivalo	46.76

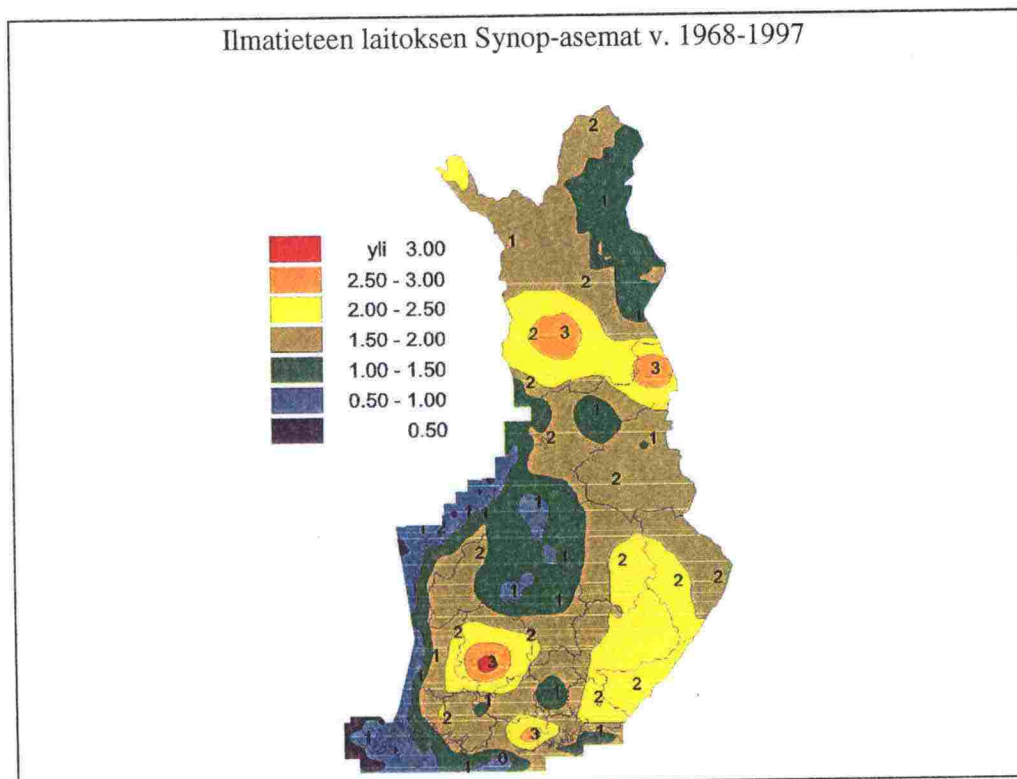
Ilmatieteen laitoksen Synop-sääasemien lumenpoistoa kuvaavien säätunnuslukujen vuosikertymien keskiarvojen (1992-1998) perusteella määritetyt 10 ankarinta ja 10 helpointa tiemestaripiiriä järjestyksessä ankarimmasta helpoimpaan säätunnusluvuittain.

Järjestys	Sade2		Lumisadesumma		Pyryt		Lumisadetapa- ukset		Lumen ajau- tuminen	
	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä	tmp	ker- tymä
1. Ankara	Kittilä	52.6	Kittilä	324.2	Ylivieska	20.53	Rovaniemi	388.2	Rovaniemi	185.2
2. Ankara	Kemijärvi	47.1	Kemijärvi	283.6	Raahе	19.76	Kemi	368.6	Kemi	143.5
3. Ankara	Sodankylä	45.6	Joensuu	280.4	Viinijärvi	19.44	Sodankylä	365.1	Posio	117.5
4. Ankara	Rovaniemi	44.4	Sodankylä	276.0	Kotka	19.26	Viinijärvi	362.6	Pello	107.0
5. Ankara	Posio	44.1	Rovaniemi	276.0	Kuopio	19.22	Kuopio	358.7	Kemijärvi	102.3
6. Ankara	Ivalo	42.8	Lieksa	274.4	Rovaniemi	18.34	Lappeenranta	353.0	Oulu	100.3
7. Ankara	Joensuu	42.6	Posio	268.9	Nilsia	18.23	Savonlinna	349.8	Kittilä	97.4
8. Ankara	Ylä-Kainuu	42.5	Viinijärvi	266.9	Kempele	18.15	Nilsia	342.7	Ivalo	94.9
9. Ankara	Kuusamo	42.3	Nurmes	265.1	Tammisaari	18.05	Juva	339.5	Sodankylä	88.6
10. Ankara	Lieksa	41.9	Kitee	264.9	Savonlinna	17.95	Pello	337.4	Kempele	81.5
10. Helppo	Forssa	25.9	Hyvinkää	166.7	Heinola	10.35	Kauhajoki	195.1	Lahti	22.7
9. Helppo	Vaasa	25.8	Raisio	166.6	Seinäjoki	10.32	Lapua	194.0	Forssa	22.6
8. Helppo	Huittinen	25.6	Huittinen	165.2	Virrat	9.94	Padasjoki	191.1	Kauhajoki	22.2
7. Helppo	Pöytyä	25.0	Pöytyä	164.7	Padasjoki	8.85	Raisio	188.4	Kankaanpää	21.2
6. Helppo	Vantaa	24.6	Rauma	163.9	Karstula	8.50	Kuusamo	182.8	Padasjoki	21.0
5. Helppo	Rauma	24.3	Vantaa	160.1	Lahti	8.30	Veteli	179.1	Riihimäki	20.7
4. Helppo	Raisio	24.2	Forssa	159.6	Ivalo	8.11	Kristiinankaupunki	178.1	Hämeenlinna	20.5
3. Helppo	Salo	23.8	Paimio	159.3	Keuruu	7.33	Tammisaari	173.1	Parkano	20.2
2. Helppo	Paimio	23.3	Salo	156.9	Kuusamo	6.40	Lahti	172.1	Virrat	18.7
1. Helppo	Tammisaari	22.0	Tammisaari	152.1	Alavus	5.14	Alavus	151.7	Alavus	16.9

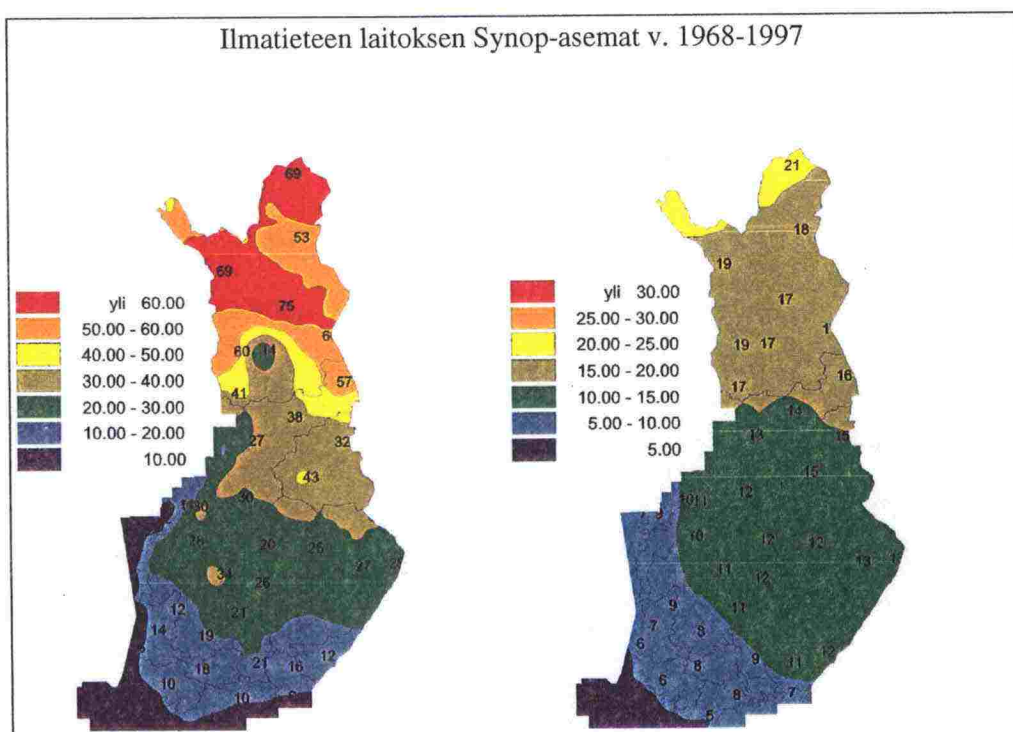
Säätunnuslukujen yhdistelmien vuosikertymien keskiarvojen (1993-1998) perusteella määritetyt 10 ankarinta ja 10 helpointa tiemestariپیriä järjestyksessä ankarimmasta helpoimpaan liukkaudentorjunnan (tiesäasemien säätunnusluvut) ja lumenpoiston osalta.

Järjestys	SITIELIU		SILP	
	tmp	kertymä	tmp	kertymä
1. Ankara	Veteli	611.7	Rovaniemi	912.3
2. Ankara	Pello	550.4	Kemi	817.1
3. Ankara	Pihtipudas	545.4	Sodankylä	788.9
4. Ankara	Alavus	542.0	Pello	761.4
5. Ankara	Kokkola	540.2	Viinijärvi	752.0
6. Ankara	Kristiinankaupunki	539.5	Kemijärvi	747.5
7. Ankara	Kittilä	538.0	Kittilä	735.0
8. Ankara	Karstula	536.8	Kuopio	725.9
9. Ankara	Rovaniemi	536.5	Nilsä	720.18
10. Ankara	Ivalo	529.3	Posio	720.12
10. Helppo	Juva	359.2	Riihimäki	433.0
9. Helppo	Imatra	358.1	Salo	432.8
8. Helppo	Lappeenranta	353.7	Forssa	432.5
7. Helppo	Lahti	344.0	Kristiinankaupunki	432.4
6. Helppo	Mikkeli	340.9	Paimio	432.3
5. Helppo	Hyvinkää	338.7	Rauma	432.2
4. Helppo	Mäntsälä	326.7	Alavus	431.4
3. Helppo	Kouvola	314.1	Lahti	430.9
2. Helppo	Kotka	303.2	Raisio	424.0
1. Helppo	Vantaa	284.2	Tammisaari	392.5

Loput säätunnuslukupinnat



Kuva 1. Märän tien jäätymisen kertymän vuosikeskiarvon alueellinen jakauma Suomessa.



Kuva 2. Lauhtuminen ja hiekoitustapauksen sekä lauhtuminen ja suolaustapauksen kertymän vuosikeskiarvon alueellinen jakauma Suomessa.

Korrelaatiokertoimet alueittain

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet koko maan aineistosta. Kertoimien laskemiseen on käytetty kaikkien tiemestaripiirien arvoja jaksolla 1992-1996. Tätä jaksoa on käytetty tämän liitteen kaikkien korrelaatiokertoimien laskemiseen.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	-0.0192	0.1367	0.0566	0.0824	0.1571
JAATPAL	-0.1443	0.0539	-0.064	0.1542	-0.0738
JAATPYLAL	-0.0667	-0.0346	-0.0485	0.0556	-0.1322
KKKALAMP	-0.3383	-0.001	-0.2176	0.1216	-0.1458
KUURAHIE	0.0397	-0.0561	-0.0141	-0.0907	-0.0122
KUURASUO	-0.0297	0.1766	0.0438	0.1716	0.1363
LAALTO	0.135	0.0738	0.151	0.0139	0.1387
LAUHIE	0.2405	-0.0985	0.0953	-0.182	0.0165
LAUSUO	0.3038	0.0043	0.193	-0.1137	0.1338
LUMSADSU	0.4171	0.1209	0.3238	0.0218	0.203
LUSA	0.3771	0.1237	0.3062	0.0124	0.2266
MATIEJAAT	0.0583	0.0582	0.0679	0.0229	0.0824
PYRYT	0.266	0.1324	0.2555	0.1025	0.1374
SADE2	0.4295	0.1091	0.3355	0.0131	0.1927
SUOLUMSAD	0.1654	0.0576	0.1532	0.0328	0.0695
TJAATPYLAL	-0.0662	-0.1221	-0.0963	-0.0605	-0.1642
TJAATPAL	-0.1589	-0.0511	-0.121	0.0201	-0.1246
LUMAJA	0.389	-0.0674	0.2597	-0.1818	0.0732
TKLIUSUO	0,071	0,374	0,205	0,269	0,410
TKLIUHIE	0,200	-0,031	0,089	-0,133	0,093
TLAALTO	0,030	0,133	0,093	0,138	0,099

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet koko maan aineistosta. Kertoimien laskemiseen on käytetty kaikkien tiepiirien arvoja, jotka on laskettu tiepiirin alueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	-0.0255	0.1828	0.0942	0.1209	0.2086
JAATPAL	-0.1917	0.0619	-0.1201	0.1792	-0.0991
JAATPYLAL	-0.0916	-0.0418	-0.0941	0.0663	-0.1641
KKKALAMP	-0.42	-0.0131	-0.3183	0.1341	-0.1934
KUURAHIE	0.0541	-0.0955	-0.0217	-0.1353	-0.024
KUURASUO	-0.0646	0.1918	0.0485	0.1813	0.1552
LAALTO	0.1628	0.0866	0.1933	0.008	0.162
LAUHIE	0.2858	-0.1229	0.1409	-0.2221	0.0293
LAUSUO	0.3879	0.0153	0.2801	-0.1319	0.1868
LUMSADSU	0.4951	0.165	0.4366	0.0527	0.256
LUSA	0.4476	0.1667	0.4189	0.0359	0.2845
MATIEJAAT	0.0544	0.071	0.0847	0.0203	0.1119
PYRYT	0.2987	0.1851	0.3406	0.1532	0.1767
SADE2	0.5099	0.1457	0.451	0.0332	0.2432
SUOLUMSAD	0.1923	0.0796	0.2073	0.0487	0.0947
TJAATPYLAL	-0.0952	-0.1552	-0.1552	-0.0744	-0.2121
TJAATPAL	-0.2098	-0.0778	-0.2002	0.0159	-0.1703
LUMAJA	0.5298	-0.0868	0.3752	-0.2279	0.1054
TKLIUSUO	0,069	0,461	0,276	0,331	0,493
TKLIUHIE	0,275	-0,030	0,159	-0,161	0,134
TLAALTO	0,017	0,145	0,096	0,153	0,095

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet koko maan aineistosta. Kertoimien laskemiseen on käytetty kaikkien tuotantoalueiden arvoja, jotka on laskettu tuotantoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	0.0087	0.2531	0.1329	0.1634	0.2908
JAATPAL	-0.1352	0.082	-0.0651	0.2123	-0.1019
JAATPYLAL	-0.024	-0.0508	-0.0514	0.073	-0.1904
KKKALAMP	-0.4922	-0.0258	-0.3683	0.1491	-0.2315
KUURAHIE	0.073	-0.0867	-0.0185	-0.1219	-0.0199
KUURASUO	-0.0593	0.305	0.094	0.3079	0.2215
LAALTO	0.2999	0.1192	0.3137	-0.0147	0.2481
LAUHIE	0.3233	-0.1345	0.1552	-0.2395	0.0316
LAUSUO	0.4378	0.0092	0.311	-0.1568	0.2059
LUMSADSU	0.6165	0.2184	0.5528	0.0737	0.3243
LUSA	0.5875	0.2142	0.5207	0.0339	0.3719
MATIEJAAT	0.0621	0.0843	0.0769	0.0248	0.1312
PYRYT	0.4364	0.2625	0.4511	0.2114	0.2483
SADE2	0.6473	0.2013	0.575	0.055	0.3154
SUOLUMSAD	0.4145	0.1842	0.3919	0.1162	0.2127
TJAATPYLAL	-0.0503	-0.1896	-0.1375	-0.0819	-0.2598
TJAATPAL	-0.2073	-0.0964	-0.2003	0.0249	-0.2129
LUMAJA	0.5817	-0.0959	0.4026	-0.2531	0.1215
TKLIUSUO	0,254	0,641	0,492	0,428	0,698
TKLIUHIE	0,313	-0,009	0,200	-0,158	0,163
TLAALTO	0,081	0,178	0,166	0,174	0,123

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet koko maan aineistosta. Kertoimien laskemiseen on käytetty kaikkien ilmastoalueiden arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	-0.0008	0.2159	0.0756	0.1103	0.2498
JAATPAL	-0.1734	0.0542	-0.1049	0.1968	-0.101
JAATPYLAL	-0.0867	-0.0614	-0.0792	0.075	-0.1781
KKKALAMP	-0.3867	0.0229	-0.2886	0.1908	-0.1462
KUURAHIE	0.0486	-0.0652	0.0088	-0.1039	-0.02
KUURASUO	-0.0202	0.3354	0.1107	0.3425	0.2337
LAALTO	0.1592	0.1026	0.2244	-0.0217	0.2039
LAUHIE	0.2851	-0.1282	0.1588	-0.2448	0.0143
LAUSUO	0.3833	0.0029	0.3022	-0.1744	0.1689
LUMSADSU	0.5202	0.1859	0.4887	0.0054	0.304
LUSA	0.4745	0.1634	0.4462	-0.0263	0.3
MATIEJAAT	0.0532	0.05	0.0405	-0.0218	0.104
PYRYT	0.3337	0.2249	0.3894	0.1732	0.2091
SADE2	0.5205	0.1548	0.4851	-0.012	0.2719
SUOLUMSAD	0.2404	0.1837	0.2889	0.1178	0.1931
TJAATPYLAL	-0.0618	-0.146	-0.1099	-0.0429	-0.203
TJAATPAL	-0.1697	-0.0421	-0.1483	0.0763	-0.1439
LUMAJA	0.491	-0.0767	0.4126	-0.2409	0.0954
TKLIUSUO	0,090	0,516	0,300	0,354	0,530
TKLIUHIE	0,234	-0,054	0,146	-0,176	0,079
TLAALTO	0,041	0,179	0,139	0,161	0,150

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet ilmastoalueella Ala-Itäinen. Kertoimien laskemiseen on käytetty ilmastoalueen arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	0.0035	0.5285	0.1516	0.1404	0.5143
JAATPAL	-0.0059	-0.1632	-0.0579	0.0445	-0.1765
JAATPYLAL	0.0168	-0.247	-0.0637	-0.0457	-0.2444
KKKALAMP	-0.3843	-0.2363	-0.3479	0.1596	-0.2745
KUURAHIE	-0.016	-0.0314	-0.0388	-0.1723	0.0023
KUURASUO	0.0774	0.3506	0.1412	0.3496	0.2899
LAALTO	0.3558	0.4865	0.4059	0.0012	0.4991
LAUHIE	0.3309	0.0497	0.2649	-0.1369	0.0784
LAUSUO	0.5006	0.2902	0.4588	-0.1031	0.3185
LUMSADSU	0.6482	0.3501	0.5875	0.0238	0.3546
LUSA	0.5755	0.3599	0.5252	-0.1413	0.3977
MATIEJAAT	-0.1013	0.1883	-0.0636	0.3854	0.1161
PYRYT	0.5526	0.2248	0.4763	-0.0549	0.2418
SADE2	0.5787	0.2412	0.4945	0.0137	0.2449
SUOLUMSAD	0.4658	0.3127	0.4397	0.0894	0.3031
TJAATPYLAL	0.055	-0.1967	-0.0366	-0.1068	-0.1841
TJAATPAL	-0.044	-0.1644	-0.0866	0.1073	-0.1911
TUMUJA3	0.3539	0.6429	0.4243	0.1616	0.6374
LUMAJA	0.6102	0.2988	0.5368	-0.2614	0.359
TKLIUSUO	0,335	0,653	0,414	0,186	0,643
TKLIUHIE	0,346	0,284	0,332	-0,126	0,319
TLAALTO	0,303	0,312	0,339	0,329	0,262

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet ilmastoalueella Keski-Kaakkoinen. Kertoimien laskemiseen on käytetty ilmastoalueen arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JAATSAD	0.106	0.2872	0.1845	0.1591	0.331
JAATPAL	-0.013	-0.0902	-0.0165	0.0392	-0.1599
JAATPYLAL	0.0794	-0.1963	-0.0183	-0.0118	-0.2938
KKKALAMP	-0.4493	-0.1728	-0.3693	0.0018	-0.2691
KUURAHIE	0.1304	-0.0688	-0.0039	-0.1036	-0.0427
KUURASUO	0.1673	0.4328	0.3048	0.3904	0.4013
LAALTO	0.3607	0.172	0.4671	-0.0002	0.285
LAUHIE	0.2747	-0.0282	0.1311	-0.1399	0.0452
LAUSUO	0.4753	0.2613	0.4713	0.0777	0.3493
LUMSADSU	0.7754	0.4347	0.7581	0.4111	0.3888
LUSA	0.7318	0.42	0.7225	0.3098	0.4479
MATIEJAAT	0.0792	0.1287	0.051	0.0566	0.1568
PYRYT	0.6326	0.3346	0.6444	0.2764	0.3373
SADE2	0.7907	0.4359	0.7747	0.4159	0.3911
SUOLUMSAD	0.6147	0.319	0.6265	0.2928	0.3031
TJAATPYLAL	-0.082	-0.3962	-0.1914	-0.3156	-0.3774
TJAATPAL	-0.2277	-0.2988	-0.2351	-0.2425	-0.2737
LUMAJA	0.6151	0.1426	0.5433	-0.0048	0.2376
TKLIUSUO	0.409	0,675	0,674	0,443	0,752
TKLIUHIE	0,243	0,086	0,192	-0,127	0,205
TLAALTO	0,221	0,132	0,273	0,055	0,171

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet ilmastoalueella Lappi. Kertoimien laskemiseen on käytetty ilmastoalueen arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄATSAD	-0.1919	0.3447	-0.0812	-0.0422	0.3565
JAATPAL	-0.2753	-0.099	-0.2373	0.232	-0.129
JAATPYLAL	-0.1647	-0.185	-0.163	0.148	-0.2067
KKKALAMP	-0.318	0.0861	-0.216	0.1363	0.0717
KUURAHIE	0.083	0.2103	0.0975	-0.0636	0.2215
KUURASUO	-0.1383	0.3024	-0.008	0.0865	0.3003
LAALTO	0.152	0.2118	0.2282	0.2659	0.1898
LAUHIE	0.1782	-0.0529	0.1065	-0.1446	-0.0393
LAUSUO	0.3702	0.1489	0.3489	-0.2852	0.1788
LUMSADSU	0.5078	0.2258	0.5269	0.0852	0.219
LUSA	0.5888	0.1525	0.5754	-0.0024	0.158
MATIEJAAT	-0.3193	0.2225	-0.2216	0.1665	0.208
PYRYT	0.5375	0.0482	0.5053	-0.0753	0.0559
SADE2	0.5536	0.2075	0.5698	0.1029	0.1991
SUOLUMSAD	0.2811	0.2948	0.3543	0.2466	0.2744
TJAATPYLAL	-0.019	-0.1103	-0.0395	-0.0362	-0.1137
TJAATPAL	-0.2614	-0.0909	-0.2237	0.0609	-0.1024
LUMAJA	0.5535	-0.0366	0.4685	-0.2399	-0.0116
TKLIUSUO	0,073	0,599	0,252	0,117	0,601
TKLIUHIE	0,120	-0,032	0,049	-0,138	-0,017
TLAALTO	0,061	0,237	0,194	0,399	0,201

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet ilmastoalueella Lounainen. Kertoimien laskemiseen on käytetty ilmastoalueen arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	0.1336	0.1901	0.1641	0.1384	0.231
JAATPAL	0.0639	-0.0189	-0.002	0.0591	-0.1
JAATPYLAL	0.0884	-0.076	-0.0138	0.0008	-0.1527
KKKALAMP	-0.3226	-0.2207	-0.3108	-0.1336	-0.3018
KUURAHIE	-0.0021	-0.1445	-0.0585	-0.1945	-0.0817
KUURASUO	0.1694	0.2191	0.1734	0.1725	0.2571
LAALTO	0.4039	0.2676	0.3859	0.2906	0.2292
LAUHIE	0.0254	-0.1115	-0.0393	-0.1966	-0.0155
LAUSUO	0.1777	0.1427	0.1496	0.0846	0.1979
LUMSADSU	0.6228	0.4349	0.5627	0.4723	0.3709
LUSA	0.597	0.4532	0.5855	0.4234	0.4579
MATIEJAAT	0.0329	0.0873	0.0787	0.0517	0.1167
PYRYT	0.5355	0.3441	0.4995	0.3668	0.302
SADE2	0.6341	0.4292	0.5784	0.4598	0.3741
SUOLUMSAD	0.4295	0.2097	0.3546	0.2732	0.1357
TJAATPYLAL	-0.0413	-0.1967	-0.1431	-0.1358	-0.2528
TJAATPAL	-0.078	-0.1306	-0.1393	-0.0551	-0.2058
LUMAJA	0.2597	0.0348	0.2173	-0.0382	0.1056
TKLIUSUO	0,365	0,649	0,515	0,607	0,662
TKLIUHIE	0,063	0,087	0,061	-0,003	0,181
TLAALTO	0,141	0,074	0,081	0,097	0,042

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet ilmastoalueella LänsiEtelä-Rannikko. Kertoimien laskemiseen on käytetty ilmastoalueen arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	0.1925	0.2093	0.1971	0.1374	0.2761
JAATPAL	0.2302	0.0872	0.1291	0.1652	-0.0204
JAATPYLAL	0.1977	-0.0111	0.0661	0.0639	-0.1068
KKKALAMP	-0.4324	-0.2689	-0.3637	-0.1602	-0.3765
KUURAHIE	0.0964	-0.1641	-0.0559	-0.2185	-0.0827
KUURASUO	0.1974	0.1743	0.1286	0.1391	0.2029
LAALTO	0.334	0.161	0.2832	0.1592	0.1401
LAUHIE	0.1056	-0.0739	0.0211	-0.1776	0.0555
LAUSUO	0.1462	0.0483	0.0326	-0.0375	0.1413
LUMSADSU	0.6388	0.3934	0.5033	0.3943	0.3457
LUSA	0.663	0.4885	0.5756	0.417	0.5276
MATIEJAAT	0.21	0.1444	0.151	0.1355	0.1405
PYRYT	0.5559	0.3051	0.4377	0.3047	0.2714
SADE2	0.651	0.3929	0.5091	0.3885	0.3537
SUOLUMSAD	0.4791	0.1771	0.3025	0.2109	0.1201
TJAATPYLAL	0.0702	-0.1876	-0.1067	-0.1033	-0.2788
TJAATPAL	-0.0219	-0.1378	-0.1231	-0.0412	-0.2542
LUMAJA	0.2117	-0.0524	0.1658	-0.1611	0.0787
TKLIUSUO	0,423	0,690	0,520	0,627	0,713
TKLIUHIE	0,138	0,117	0,055	0,015	0,231
TLAALTO	0,116	0,144	0,104	0,175	0,082

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet ilmastoalueella Pohjois-Rannikko. Kertoimien laskemiseen on käytetty ilmastoalueen arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JÄÄTSAD	0.0274	0.1035	0.0031	0.0371	0.1261
JAATPAL	-0.0508	-0.0699	-0.0822	0.005	-0.0966
JAATPYLAL	0.0618	-0.1148	-0.0435	-0.0313	-0.1502
KKKALAMP	-0.2992	-0.055	-0.3475	-0.0248	-0.0705
KUURAHIE	0.2357	0.003	0.1136	-0.0262	-0.0036
KUURASUO	0.0621	0.1852	0.0969	0.1069	0.2335
LAALTO	0.1229	0.0094	0.3965	-0.05	0.0763
LAUHIE	0.2741	-0.0302	0.2734	-0.097	-0.0028
LAUSUO	0.272	0.152	0.4263	0.1845	0.1475
LUMSADSU	0.5376	0.4476	0.721	0.5578	0.4062
LUSA	0.487	0.3143	0.6743	0.3808	0.2909
MATIEJAAT	0.1502	0.1011	0.0895	0.0475	0.1186
PYRYT	0.3518	0.2837	0.4992	0.391	0.235
SADE2	0.4923	0.3893	0.7018	0.5054	0.3511
SUOLUMSAD	0.3336	0.3275	0.5115	0.4777	0.2776
TJAATPYLAL	0.0738	-0.2087	-0.0355	-0.187	-0.2141
TJAATPAL	-0.1049	-0.1305	-0.1849	-0.0758	-0.154
LUMAJA	0.3214	0.0608	0.4262	0.0578	0.0551
TKLIUSUO	0,216	0,598	0,543	0,542	0,649
TKLIUHIE	0,119	-0,064	0,124	-0,148	-0,015
TLAALTO	0,014	0,165	0,179	0,186	0,173

Säätunnuslukujen ja kustannusten väliset korrelaatiokertoimet ilmastoalueella Ylä-Itäinen. Kertoimien laskemiseen on käytetty ilmastoalueen arvoja, jotka on laskettu ilmastoalueella olevien tiemestaripiirien arvojen keskiarvona.

	KLP	KLT	KTH	KSUO	KHIE
JAÄTSAD	0.0627	0.1206	0.062	0.0326	0.1211
JAATPAL	-0.1006	0.0223	-0.0905	0.0924	0.0103
JAATPYLAL	-0.104	-0.1058	-0.0782	-0.0837	-0.1115
KKKALAMP	-0.1844	0.0761	-0.1562	0.3128	0.0443
KUURAHIE	0.0704	-0.0581	-0.0027	-0.1531	-0.0646
KUURASUO	0.146	0.063	0.1311	0.1313	0.0666
LAALTO	0.0068	0.2143	0.2943	0.1395	0.2522
LAUHIE	0.2471	-0.022	0.1461	-0.2426	0.0039
LAUSUO	0.2616	-0.0391	0.3251	-0.156	-0.0093
LUMSADSU	0.4483	0.2935	0.6455	0.031	0.3467
LUSA	0.2955	-0.0093	0.4098	-0.2476	0.0397
MATIEJAAT	0.0826	-0.0205	-0.0308	-0.1047	-0.0042
PYRYT	0.3919	0.2119	0.5388	0.0312	0.2536
SADE2	0.4823	0.2849	0.6748	0.0312	0.3387
SUOLUMSAD	0.298	0.3676	0.4844	0.1539	0.4027
TJAATPYLAL	-0.0384	-0.2186	-0.1344	-0.2278	-0.2264
TJAATPAL	-0.0832	0.023	-0.1028	0.0747	0.0086
LUMAJA	0.4079	0.0075	0.5355	-0.2954	0.0514
TKLIUSUO	0.272	0,523	0,571	0,342	0,583
TKLIUHIE	0,097	-0,062	0,061	-0,288	-0,016
TLAALTO	0,069	0,286	0,347	0,222	0,324

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-640-5
TIEL 3200610